

## НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ

Предмет: Молба за покретање поступка за избор у звање  
**Виши научни сарадник**

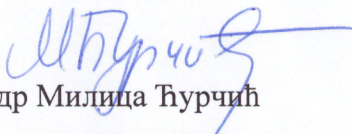
Молим Научно веће Института за физику да у складу са Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, покрене поступак за мој избор у звање **Виши научни сарадник**.

У прилогу достављам:

1. Мишљење руководиоца пројекта са предлогом чланова комисије
2. Кратку биографију
3. Преглед научне активности
4. Елементе за квалитативну оцену научног доприноса
5. Елементе за квантитаивну оцену научног доприноса
6. Списак објављених радова и њихове копије
7. Податке о цитираности
8. Фотокопију решења о претходном избору у звање
9. Додатне прилоге

У Београду, 25.03.2024.

С поштовањем

  
др Милица Турчин  
научни сарадник

Институт за физику Београд



## Научном већу Института за физику у Београду

Београд, 25.03.2024.


**Предмет: Мишљење руководиоца лабораторије о избору др Милице Ђурчић у звање виши научни сарадник**

Др Милица Ђурчић је запослена у Институту за физику Београд од 01.01.2009. године и ангажована је у Лабораторији за истраживање у области електронских материјала. У Лабораторији ради на темама везаним за проучавању материјала применом Раманове, Инфрацрвене и Фотолуминесцентне спектроскопије. У звање научни сарадник изабрана је 27.11.2013. године. У међувремену је била на два породилска одсуства. Реизабрана је у звање научни сарадник 20.11.2020. Пошто испуњава све предвиђене услове, у складу са Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача МПНТР, сагласан сам са покретањем поступка за избор др Милице Ђурчић у звање **виши научни сарадник**.

Предлог чланова Комисије за писање извештаја:

1. др Анђелија Илић, научни саветник Института за физику Београд
2. др Небојша Ромчевић, научни саветник Института за физику Београд
3. др Бранка Хацић, виши научни сарадник Института за физику Београд
4. др Душан Поповић, редовни професор Физичког факултета Универзитета у Београду

Руководилац лабораторије:

  
др Небојша Ромчевић

научни саветник

Институт за физику Београд



## 1. БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ

Др Милица Ћурчић (Петровић) рођена је 21.03.1982. у Руми. Дипломирала је на Факултету за физичку хемију Универзитета у Београду 2007. године и стекла звање дипломирани физикохемичар.

Мастер студије из физичке хемије завршила је 2008. године и стекла звање дипломирани физикохемичар – мастер физичке хемије.

18. јануара 2013. године стекла је звање доктора наука – физикохемијских наука, одбраном докторске дисертације под називом *"Испитивање утицаја мангана на оптичке особине ускозонских полупроводника типа  $Hg_{1-x}Mn_xTe_{1-y}Se_y$  и  $Cd_{1-x}Mn_xS$ "*, под менторством др Небојше Ромчевића, научног саветника Института за физику Београд.

У периоду од 01.01.2009. године запослена је у Институту за физику као истраживач – приправник, а од 28. 11. 2011. године као истраживач – сарадник. 27.11.2013. изабрана је у звање научни сарадник. У међувремену је била на два породилска одсуства. Реизабрана је у звање научни сарадник 20.11.2020. Тренутно је ангажована у Лабораторији за истраживање у области електронских материјала. Основни предмет истраживања јој је оптичка спектроскопија и карактеризација различитих врста наноматеријала.

Др Милица Ћурчић је у свом досадашњем научном раду аутор или коаутор 28 рада објављених у међународним и домаћим часописима и саопштеним на међународним и домаћим конференцијама.



## 2. Преглед научне активности др Милице Ћурчић

Милица Ћурчић је започела свој научно-истраживачки рад на Институту за физику у Београду у оквиру Центра за чврсто стање и нове материјале 2009. године. Током свог досадашњег рада бавила се проучавањем нанодимензионих полупроводничких система. Конкретније, бавила се Рамановом спектроскопијом, ИЦ спектроскопијом и Фотолуминесценцијом. Њен научни рад базиран је на проучавању оптоелектронских особина полумагнетних полупроводника, који су у данашње време, због могућности промене структуре, зонских и осталих особина, са променом састава веома актуелни и налазе велику примену у спинтроници. Такође, научна активност обухвата самосталан експериментални рад уз обраду добијених резултата и теоријску анализу. Добијени експериментални резултати се анализирају, примењују се постојећи модели или се стварају нови, да би се дошло до јасне интерпретације особина испитиваних полупроводничких материјала. Досадашња научна активност кандидата испољава се у неколико сегмента.

### II-VI Полупроводници

Др Милица Ћурчић је проучавала II-VI полупроводнике, који имају огромну примену у оптоелектронској индустрији. Ова једињења користе се у различитим комерцијалним електронским и оптичким инструментима, који раде у плавом до УЉ спектру, као што су визуелни дисплеји, оптичке меморије, транспарнтни полупроводници, полупроводнички ласерски уређаји, фотодетектори, соларне ћелије... Ова једињења кристалишу у цинк бленд или вурцитну структуру. Енергија процепа за ове полупроводнике се креће од 0 до 3.8 еВ. II-VI полупроводник који се проучавао је CdTeSe допиран In. Измерени су спектри рефлексије далеког инфрацрвеног спектра монокристала CdTeSe и CdTeSe(In) на различитим температурама. Анализа далеког инфрацрвеног спектра је спроведена поступком прилагођавања на основу диелектричне функције која обухвата просторну расподелу слободних носилаца као и њихов утицај на плазмон фонон интеракцију.



У II-VI полупроводнике спадају и поликристални танки филмови CdS, који имају велику примену за производњу оптоелектричних и пиезоелектричних инструмената. Особине танких филмова CdS су испитиване применом микроскопије атомских сила и Раманове спектроскопије. Танки филмови CdS су добијени методом термалног напаравања. Квалитет филмова је испитиван микроскопијом атомских сила. Проучавање оптичких својстава танких филмова CdS је извршено применом Рамановог расејања. Установљено је постојање површинских оптичких фононских модова на  $297 \text{ cm}^{-1}$ . Диелектрична функција је моделована применом Максвел Гарнетове формуле.

Наночестице CdSe уграђене у провидно стакло проучавене су методом Фотолуминесцентне спектроскопије. Узорак је припремљен оригиналном техником која комбинује топлотну обраду и ултраљубичасто ласерско зрачење. Приказани спектри фотолуминисценције детектују један главни емисиони опсег на 2,14 eV. Енергију овог опсега идентификујемо као основну међупојасну транзицијуу наночестице CdSe. Израчуната је енергија основног прелаза у сферним квантним тачкама CdSe.

Станит ( $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ ) је један од најпознатијих сулфидних минерала, не само због свог економског значаја као руде калаја, већ такође због својих структурних и физичких карактеристика. Карактерише га ниска токсичност, релативно велика заступљеност у Земљиној кори због чега има примену за производњу соларних ћелија. Анализа оптичких својстава механохемијски синтетизованих станитних нанокристала  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  је изведена коришћењем далеке инфрацрвене спектроскопије. Спектри рефлексije су анализирани коришћењем класичног облика диелектричне функције. Дифракција рендгенских зрака и Раманова спектроскопија су технике које се користе да карактеришу кристалну структуру и композициону чистоћу наночестица станита.

Радови др Милице Ђурчић из ове области су:

1. **M. Petrovic**, N. Romcevic, J. Trajic, W.D. Dobrowolski, M. Romcevic, B. Hadzic, M. Gilić, A. Mycielski

*Far-infrared spectroscopy of CdTe<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>(In): Phonon properties*

*Infrared Physics & Technology* 67 (2014) 323–326

2. J Trajić, M. Gilić, N. Romčević, M. Romčević, G. Stanišić, B. Hadžić, **M. Petrović**, Y.S. Yahia

*Raman Spectroscopy of Optical Properties in CdS Thin Films*

*Science of Sintering* 47 (2015) 145-152.



3.M. Gilic, R. Kostic, D. Stojanovic, M. Romcevic, B. Hadzic, **M. Petrovic**, U. Ralevic, Z. Lazarevic, J. Trajic, J. Ristić-Djurovic, J. Cirkovic, N. Romcevic

*Photoluminescence spectroscopy of CdSe nanoparticle embedded in transparent glass*  
Optical and Quantum Electronics (2018) 50:288.

4.J. Trajic, M. Romcevic, N. Paunovic, **M. Curcic**, P. Balaz, N. Romcevic

*Far-infrared study of the mechanochemically synthesized Cu<sub>2</sub>FeSnS<sub>4</sub>(stannite) nanocrystals*  
Infrared Physics & Technology 90 (2018) 66–69.

5.J. Trajic, M. Romcevic, **M. Petrovic**, M. Gilic, P. Balaz, A. Zorkovska, N. Romcevic

*Optical properties of the mechanochemically synthesized Cu<sub>2</sub>FeSnS<sub>4</sub>(stannite) nanocrystals: Raman study*  
Optical Materials 75 (2018) 314-318

### III-VI Полупроводници

Слојевити III-VI полупроводници су од великог интереса јер имају висока анизотропна оптичка и електрична својства и релативно инертне базалне равни. Због ових особина, слојевити III-VI полупроводници се често користе као фотохемијске електроде. InSe је атрактиван материјал за конверзију соларне енергије. Енергија његовог гена је 1.32 eV. Проучавао се утицај прелазних метала Mn, Fe, Co, Ni, који су употребљени као допанти, на понашање InSe, кроз серију елипсометријских мерења.

Рад др Милице Ђурчић из ове области је:

1. Milutinovic Aleksandra N, Lazarevic Zorica Z, Jakovljevic Milka M, Hadzic Branka B, **Petrovic M**, Gilic Martina, Dobrowolski Witold Daniel, N. Romčević

*Optical properties of layered III-VI semiconductor gamma-InSe:M (M=Mn, Fe, Co, Ni)*  
Journal of Physics and Chemistry of Solids 89 (2016) 120-127.

### Полупроводни метални халкогениди

Бакар селенид (CuSe) је метални халкогенидни полупроводник који се налази у многим фазама и кристалографским облицима, CuSe (минерал клокманите), Cu<sub>2</sub>Se, CuSe<sub>2</sub> (минерал маркасите) и многи други. Кристалографски облици у којима се јавља овај



халкогенидни полупроводник су: моноклинични, кубни, тетрагонални, орторомбни....). Површину овог узорка испитиване је микроскопијом Атомских сила као и Скенирајућом електронском микроскопијом. Може се заклучити да се формирање CuSe танких филмова одвија неравномерно, у облику острва која су касније расла у агломерате. Структурна карактеризација је извршена помоћу Рентгеноструктурне анализе и примећено постојање двофазног система. Један систем је чврсти раствор Cu у Sn а други систем је модификација са ниским притиском CuSe<sub>2</sub>. Раманова спектроскопија одиграла је пресудну улогу у идентификацији ових фаза.

Радово др Милице Ђурчић из ове области је:

1. M. Gilić, **M. Petrović**, R. Kostić, D. Stojanović, T. Barudžija, M. Mitrić, N. Romčević, U. Ralević, J. Trajić, M. Romčević, I.S. Yahia

*Structural and optical properties of CuSe<sub>2</sub> nanocrystals formed in thin solid Cu-Se film*

Infrared Physics and Technology 76 (2016) 276-284.

2. **Milica Petrović**, Martina Gilić, Jovana Ćirković, Maja Romčević, Nebojša Romčević, Jelena Trajić, Ibrahim Yahia

*Optical Properties of CuSe Thin Films – Band Gap Determination*

Science of Sintering, 49 (2017) 167-174.

3. Martina Gilic, **Milica Petrovic**, Jovana Ćirkovic, Novica Paunovic, Svetlana Savic-Sevic, Željka Nikitovic, Maja Romcevic, Ibrahim Yahia, Nebojša Romcevic

*Low-temperature photoluminescence of CuSe<sub>2</sub> nano-objects in selenium thin films*

Processing and Application of Ceramics 11 [2] (2017) 127–135.

## Магнетни полупроводници

Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S припада групи магнетних полупроводника, широко проучавани у последњих неколико година. Велико интересовање постоји због позиције магнетних јона на истим оним местима на којима се налазе слободни електрони и шупљине, што омогућава велику примену у соларним ћелија, тунелујућим ласерима, спинтроник уређајима. Раманова спектроскопија у овом случају је недеструктивна техника за проучавање локалног окружења. Она нам пружа информације о вибрационим модовима полупроводних наночестица. Наночестице Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S добијене су помоћу колоидне хемијске методе. У Рамановим спектрима асиметрична линија је примећена на око



300 $\text{cm}^{-1}$ . Регистрована нелинеарна промена интензитета за различите садржаје  $\text{Mn}^{2+}$  и енергија побуде је повезана са нелинеарним променама енергетски процепа.

Рад др Милице Ђурчић из ове области је:

1. **Milica Petrović**, M. Romčević, R. Kostić, N. Romčević, W. D. Dobrowolski, M. Gilić, B. Hadžić, J. Trajić, D. Stojanović, Z. Lazarević

*Optical properties of  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$  nanoparticles: off-resonance Raman spectroscopy*

Optoelectronics and advanced materials-rapid communications, 10 (2016) 177 – 179.

## Пластично деформисани метали и металне легуре

У досадашњем раду колегиница се бавила и испитивањем оптичких особина материјала подвргнутих екстремној пластичној деформацији методом Раманове спектроскопије. Оптичке особине чистог бабра који је пластично деформисан једнакоканалном угаоном пресом испитиване су коришћењем Раманове спектроскопије којом је откривено постојање нанодимензионих кристалних структура како чистог бабра тако и бабар оксида у формираним аморфним кластерима. Добијени резултати указују да није дошло до потпуне аморфизације целог узорка. Микроструктурне особине легуре  $\text{Cu} - \text{Al}$  (0,4%  $\text{Al}$ ) која је, након унутрашње оксидације, била подвргнута једнакоканалној угаоној преси, испитиване су методама микроскопије атомске силе, дифракције  $X - \text{зрака}$  и Раманове спектроскопије. Након високотемпературске унутрашње оксидације уочене су честице  $\text{Al}_2\text{O}_3$  у регији омотача, које су хомогено распоређене. Резултати микроскопије атомске силе су јасно показали да је зона унутрашње оксидације чвршћа и отпорнија на деформације у односу на језгро узорка. Добијени резултати указују на то да је пластична деформација довела до аморфизације узорка, што се може приписати повећању слободне енергије услед велике густине дислокација. Ако складиштена енергија деформације расте са напрезањем материјала, јасно је да је трансформација у аморфно стање енергијски повољнија. Степен аморфизације је већи у трансферзалној равни у односу на лонгитудиналну.

Рад др Милице Ђурчић из ове области је:

1. N. Romčević, M. Gilić, I. Anzel, R. Rudolf, M. Mitrić, M. Romčević, B. Hadžić, D. Joksimović, **M. Petrović-Damjanović** and M. Kos

*Determination of Microstructural Changes by Severly Plastically Deformed Copper-Aluminium Alloy: Optical Study*

## **Материјали са израженом плазмон-фонон и плазмон-дво фонон интеракцијом**

Структурне, електричне и оптичке особине полумагнетног полупроводног кристала  $ZnGeAs_2$  како чистог тако и допираног са различитим процентима мангана, а интересантног због могућности примене у спинтроници уређајима, су испитиване методом Раманове и инфрацрвене спектроскопије. Рамановом спектроскопијом је утврђено је постојање арсеникових кластера уз очекиване кластере  $MnAs$  и манганових комплекса као и постојање карактеристичних вибрационих фреквенци основног кристала  $ZnGeAs_2$ . Претпоставили смо да су ови кластери смештени на крајевима (границама) кристалита, као и да су слободни носиоци нехомогено распоређени у узорцима. Инфрацрвеном спектроскопијом је испитиван утицај плазмонског пригушења на интеракцију плазмона са два различита фонона у  $Zn_{1-x}Ge_xAs_2$ . Одређена је специфична природа понашања фреквенце спарених фонона. За разлику од плазмон фонон интеракције код плазмон дво-фонон интеракције њихове фреквенце нису у области између ТО и ЛО фреквенци при високим вредностима плазмонског пригушења. Потврђено је присуство кластера  $MnAs$  а одређена је и веза између концентрације слободних носилаца наелектрисања и оптичких параметара.

Рад др Милице Ђурчић из ове области је:

1. N. Romčević, M. Romcevic, W. D. Dobrowolski, L. Kilanski, **M. Petrovic**, J. Trajic, B. Hadzic, Z. Lazarevic, M. Gilic, J. L. Ristic-Djurovic, N. Paunovic, A. Reszka, B.J. Kowalski, I.V. Fedorchenko, S.F. Marenkin

*Far-infrared spectroscopy of  $Zn_{1-x}Mn_xGeAs_2$  single crystals: plasma damping influence on plasmon - phonon interaction*

Journal of Alloys and Compounds 649 (2015) 375-379.

## **Композити на бази цинка**

Наноплочике како чистог тако и модификованог цинк – оксида са бипиридином и рутенијумовим комплексима (цис и транс) припремљене су преципитационим методом. Оптичка карактеризација новодобијеног композита је вршена а разматран је и утицај модификатора на структурне и оптичке особине овог материјала. Утврђено је да

наноплочице цинк оксида након модификације постају мање и уграђују се у структуру модификатора. Показано је да модификација рутенијумовим комплексима доводи до веће активности цинк оксида као и до преноса наелектрисања метал-лиганд што узрокује значајну промену Раманових спектра а самим тим и оптичких особина испитиваних узорака. Испитивањем луминесцентних спектра показана је повезаност пика на 553nm са биридином, пика на 737 nm са преносом наелектрисања метал-лиганд док је пик на 678 nm карактеристика цинк оксида. Ова истраживања отварају пут примени ових материјала у биомедицини.

Полимерним наноконпозитима ZnS са полиметилметакрилатом (ПММА) испитиване су структурне и оптичке особине коришћењем XRD, SEM, TEM, HRTEM и Раманове спектроскопије. Утврђена је кубна структура узорака и процењена величина кубних нанокристалита ZnS је 2,3nm. Ове наночестице су насумично распоређене у ПММА матрици. Оптичке особине узорака испитиване су Рамановом спектроскопијом. Како су наночестице окружене силиконом и ПММА коришћен је Бругерманов модел ефективног медијума. Овим је утврђено постојање површинског оптичког фонона чији се центар пика налази на око  $347\text{ cm}^{-1}$ . Анализирана је зависност положаја површинског оптичког фонона од густине (filling factor ( $f$ )) матрице и утврђено је померање положаја површинског оптичког фонона ка већим вредностима таласних бројева са порастом густине матрице.

Настављен је рад на модификованим узорцима ZnS са 3-Меркаптопропилтриметоксисиланом у циљу добијања квази структура језгро-омотач на чије ће особине утицати како својства језгра од ZnS, тако и особине органског омотача. Добијене су овакве полупроводне нано честице, а њихова својства су испитивана далеком инфрацрвеном спектроскопијом. Експериментални резултати показују да су успешно формиране овакве структуре и да показују особине како полупроводника ZnS тако и органског једињења омотача. Примећене су промене у особинама ових структура и доказано је да су оне последица особина површинског органског једињења а да те карактеристике модулише и присуство наночестица ZnS.

Радови др Милице Ђурчић из ове области су:

1. **М. Ћурчић**, В. Hadžić, М. Gilić, V. Radojević, А. Bjelajac, I. Radović, D. Timotijević, М. Romcević, J. Trajić and N. Romcević

*Surface optical phonon (SOP) mode in ZnS/Poly (methylmethacrylate) nanocomposites*

Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures 115, 113708(2020)



2. N. Romčević, **M. Ćurčić**, V. Radojević, J. Trajić, N. Paunović, B. Babić, B. Hadžić and M. Romčević

*Modulated interference effect by ZnS nanoparticles/3-Mercaptopropyltrimethoxysilane quasi core-shell structure: Far-infrared spectroscopy*

Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications, 16 (7-8), 359-363 (2022)

3. B. Hadžić, N. Romčević, M. Romčević, I. Kuryliszyn-Kudelska, W. Dobrowolski, M. Gilić, **M. Petrović-Damjanović**, J. Trajić, U. Narkiewicz, D. Sibera

*Raman study of surface optical phonons in ZnO(Co) nanoparticles prepared by calcinations method*

Journal of optoelectronics and advanced materials 16 (5-6) (2014) 508-512.

Кроз сарадњу са другим групама, као и са својим колегама, изучавани су различити материјали где је колегиница др Милица Ђурчић дала допринос како у комплексној карактеризацији испитиваних узорака тако и у свеобухватној анализи утицаја синтезе на изглед Раманових и фотолуминесцентних спектра.

Радови др Милице Ђурчић из ове области су:

1. M. Gilić, R. Kostić, D. Stojanović, M. Romcević, B. Hadzić, **M. Petrović**, U. Ralević, Z. Lazarević, J. Trajić, J. Ristić-Djurović, J. Cirković and N. Romcević

*Photoluminescence spectroscopy of CdSe nanoparticle embedded in transparent glass*

Optical and Quantum Electronics 50, 288(2018).

2. M. S. Rabasović, D. Šević, J. Križan, M.D. Rabasović, S. Savić-Šević, M. Mitrić, **M. Petrović**, M. Gilić, N. Romčević

*Structural properties and luminescence kinetics of white nanophosphor YAG:Dy*

Optical Materials 50 (2015) 250-255.

3. Željka D. Nikitović\*, Martina D. Gilić, **Milica S. Petrović**, Nebojša Z. Romčević, Zoran M. Raspopović, Vladimir D. Stojanović

*Cross Sections and Transport Properties for Na<sup>+</sup> in (DXE) Gas*

Science of Sintering, 48 (2016) 379-386

4. S.P. Dimitrijevic, Z. Ž. Lazarevic, M. Rajcic-Vujasinovic, S. B. Dimitrijevic, **M. Petrovic**, M. Gilic, B. M. Jokic

*Raman spectroscopy study of anodic film on Ag<sub>43</sub>Cu<sub>37</sub>Zn<sub>20</sub> alloy*

Optoelectronics and advanced materials-rapid communications, Vol. 10, No. 9-10, September-October 2016, p. 777 – 780.

5. Jelena Trajic, **Milica Curcic**, Mariano Casas Luna, Maja Romcevic, Michaela Remesova, Matej Balaz, Ladislav Celko, Karel Dvorak, Nebojsa Romcevic

*Vibrational properties of the mechanochemically synthesized Cu<sub>2</sub>SnS<sub>3</sub>: Raman study*

Journal of Raman spectroscopy, 2022, 1-11

6. N. Romcevic, **M. Curcic**, V. Radojevic, J. Trajic, N. Paunovic, B. Babic, B. Hadzic, M. Romcevic

*Modulated interference effect by ZnS nanoparticles / 3-Mercaptopropyltrimethoxysilane quasi core-shell structure: Far-infrared spectroscopy*

Optoelectronics and advanced materials-rapid communications, Vol. 16, No. 7-8, July-August 2022, p. 359 - 363

7. Z. Lazarevic, Lj. Andjelkovic, M. Šuljagic, A. Milutinovic, **M. Curcic**, J. Trajic, N. Paunovic, M. Romcevic, B. Hadzic, N. Romcevic

*Vibrational and magnetic properties of nano-sized CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> obtained by various synthesis techniques: a comparative study*

Optoelectronics and advanced materials-rapid communications, Vol. 17, No. 5-6, May-June 2023, p. 247 – 254

8. Nebojsa Romcevic, Branka Hadzic, Marija Prekajski Đorđević, Peda Mihailovic, **Milica Curcic**, Jelena Trajic, Jelena Mitric, and Maja Romcevic

*Effect of Laser Heating on Partial Decomposition of Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub> (BSO) Single Crystal: Raman Study*

Journal of Spectroscopy, Volume 2023, Article ID 5490018, 8 pages

Др Милица Ћурчић је проширила област истраживања и покренула сарадњу на пољу микропластика са Анђелијом Илић и Предрагом Коларжом. Такође, постоји и сарадње са Институтом Јосиф Панчић.

### **3. Елементи за квалитативну оцену научног доприноса др Милице Ћурчић**

#### **3.1. Квалитет научних резултата**

##### **3.1.1. Научни ниво и значај резултата**

Др Милица Ћурчић је у свом досадашњем научном раду аутор или коаутор 28 рада објављених у међународним и домаћим часописима и саопштеним на

међународним и домаћим конференцијама. Од тога су 3 рада објављена у међународним часописима изузетних вредности категорије M21A, 4 рада објављена у врхунским међународним часописима M21, 14 у водећим часописима категорије M22, 7 у међународним часописима категорије M23. У категорији M32 кандидат има 1 рад, зборници са међународних скупова кандидат има 3 рада категорије M33 и 14 радова категорије M34, као и 2 мала патента категорије M92.

Као пет најзначајнијих радова кандидаткиње издвајамо:

1. **M. Petrović**, N. Romčević, J. Trajić, W.D. Dobrowolski, M. Romčević, B. Hadžić, M. Gilić, A. Mycielski

*Far-infrared spectroscopy of CdT<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>(In): Phonon properties*

Infrared Physics and Technology 67(2014), 323-326.

2. M. Gilić, **M. Petrović**, R. Kostić, D. Stojanović, T. Barudžija, M. Mitrić, N. Romčević, U. Ralević, J. Trajić, M. Romčević, I. S. Yahia,

*Structural and optical properties of CuSe<sub>2</sub> nanocrystals formed in thin solid Cu-Se film,*

Infrared Physics & Technology 78 (2016), 276-284.

3. J. Trajic, M. Romcevic, **M. Petrovic**, M. Gilic, P. Balaz, A. Zorkovska, N. Romcevic

*Optical properties of the mechanochemically synthesized Cu<sub>2</sub>FeSnS<sub>4</sub>(stannite) nanocrystals: Raman study*

Optical Materials 75 (2018), 314-318.

4. Jelena Trajic, **Milica Curcic**, Mariano Casas Luna, Maja Romcevic, Michaela Remesova, Matej Balaz, Ladislav Celko, Karel Dvorak, Nebojsa Romcevic

*Vibrational properties of the mechanochemically synthesized Cu<sub>2</sub>SnS<sub>3</sub>: Raman study*

Journal of Raman spectroscopy, 2022, 1-11

5. Nebojsa Romcevic, Branka Hadzic, Marija Prekajski Đorđević, Peda Mihailovic, **Milica Curcic**, Jelena Trajic, Jelena Mitric, and Maja Romcevic

*Effect of Laser Heating on Partial Decomposition of Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub> (BSO) Single Crystal: Raman Study*

Journal of Spectroscopy, Volume 2023, Article ID 5490018, 8 pages

У првом раду (Infrared Physics and Technology) су проучавини II-VI полупроводници који имају велику примену у индустрији фотодетектора, ласерских уређаја, дисплеја, опричких меморија. Ови полупроводници кристалишу у цинк бленд и



вурцитној структури. Снимани су Инфрацрвени спектри  $CdT_{1-x}Se_x(In)$  на различитим температурама. Анализа снимљених експерименталних спектра је урађена коришћењем диелектричне функције која описује плазмон-фонон интеракцију. Коришћен је Генцелов модел за описивање фононских модова. Кристали су нарастали Бридџмановом методом на Институту за физику у Варшави.

У другом раду (Infrared Physics & Technology) кандидаткиња детаљно изучава оптичка и структурна својства двофазних танких филмова. Раманова и инфрацрвена спектроскопија су коришћене за идентификацију и квантификацију две фазе. Помоћу модела за конфајнмент оптичких фонона одређиване су величине честица  $CuSe_2$  фазе, при чему је утврђено да се димензије честица повећавају са повећањем дебљине филма. Иако је овај модел ограничен на наночестице правилног сферног облика, показало се да он даје добре резултате и код реалних нанокристала који су неправилног облика. Иначе, бакар селенид припада групи металних халкогенидних полупроводника, који постоји у различитим фазама и кристалографским равнима,  $CuSe$  (mineral klockmannite),  $Cu_2Se$ ,  $CuSe_2$  (mineral marcasite),  $Cu_3Se_2$  (mineral umangite)...а кристалографске форме су моноклинична, кубна, тетрагонална, орторомбична.....

У трећем раду (Optical Materials) анализиране су вибрационе карактеристике механохемијски синтетисаног  $Cu_2FeSnS_4$  (Stannite). XRD и Раманова спектроскопија су методе које се користе за карактеризацију кристалне структуре  $Cu_2FeSnS_4$ . Позиција модова на експерименталном спектру одговара тетрагоналној структури овог материјала, као и бинарним фазама  $FeS$  и  $SnS$ . Интензитет модова бинарних фаза се смањује са временом мљења. Потпуно нестајање две бинарне фазе одговара времену које је дуже од 90 минута мљења. Реч је о нанокристалу, који је четворокомпонентни халкогенид. Веома је битан материјал код оптоелектронске апликације, због своје мале токсичности и велике заступљености у Земљиној кори. Узорак је припремљен механохемијском синтезом на Институту за Геотехнику у Словачкој. Времена мљења су 45, 60, 90 и 120 минута у атмосфери аргона.

У четвртом раду (Journal of Raman spectroscopy) настављена је сарадња са Институтом за Геотехнику у Словачкој и проширена на Институт за Технологију у Чешкој. Детаљно је проучаван нанокристал  $Cu_2SnS_3$  због велике примене у соларним ћелијама. Трокомпонентни нанокристал заступљен је у Земљиној кори, није токсичан и његови појединачни елементи показују велику стабилност. Анализирне су вибрационе карактеристике механохемијски синтетисаног  $Cu_2SnS_3$  нанокристала. Раманова спектроскопија је недеструктивна техника која се користила за потпуну идентификацију

кристалне структуре. Времена млевења су 15 секунди и 5, 10, 15 и 30 минута. Фазна идентификација урађена је помоћу Рентгеноструктурне анализе. Посматрани су појединачни кораци реакције између елементарних прекурсора током процеса млевења. Раманова анализа узорака указала је на формирање моноклиничних и тетрагоналних  $\text{Cu}_2\text{SnS}_3$  фазе. Међу пиковима који су карактеристични за  $\text{Cu}_2\text{SnS}_3$  фазу регистровали смо модове који настају из бинарних фаза  $\text{Cu-S}$ ,  $\text{Sn-S}$  и бакар сулфида, калаја и оксиди бакра.

У петом раду (*Journal of Spectroscopy*) проучаван је ефекат ласерског загревања (ласерске линије 532 нанометра) на делимичну декомпозицију монокристала  $\text{Bi}_{12}\text{MO}_{20}$  где је  $\text{M}=\text{Si}$ ,  $\text{Ge}$ ,  $\text{Ti}$ . Степен разградње директно зависи од густине снаге и трајања ласерског третмана, који се региструју фононским Рамановим спектрима. Након ласерског третмана, АФМ мерењима се региструју додатна мала сферна острва на површини. Анализа обављена на озраченим и неозраченим узорцима је показала значајне промене у спектру трансмисије, рендгенске диракцијске шеме, Вердетове константе, магнетно-оптичка својстава и апсорпционог коефицијента. Материјал добијен након ласерског зрачења може се описати као специфични нанокмполит који се састоји од нано-објеката на бази бизмут оксида и силицијум оксида (димензије испод 15 нм у пречнику), који су распоређени у матрици од  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ .

### ***3.1.2. Параметри квалитета часописа***

У периоду од 2013. до 2024. (два породилска одсуства и реизбор) у категорији M21a (**међународни часописи изузетних вредности**) кандидат је објавио радове у следећим часописима:

1 рад у *Journal of Alloys and Compounds* ИФ(2015) =5,316, SNIP(2015)=1,3

У категорији M21(**врхунски међународни часописи**) кандидат је у пероду од 2013. до 2024., објавио радове:

2 рада у *Optical materials* (ИФ (2015)=2,792, SNIP(2015)=0,86)

(ИФ (2018)=3,080, SNIP(2018)=0,92)

1 рад у *Journal of Raman spectroscopy* ИФ(2021)=3,133, SNIP(2021)=0,91

У категорији M22 (**истакнути међународни часопис**) кандидат је је у пероду од 2013. до 2024., објавио радове:

1 рад у Journal of Mining and Metallurgy section B-Metallurgy ИФ(2014)=1,382, SNIP(2014)=0,56

2 рада у Science of Sintering ИФ(2015)=1,132, SNIP(2015)=0,32, ИФ(2016)=1,174, SNIP(2016)=0,38, ИФ(2017)=1,374, SNIP(2017)=0,57

1 рад у Journal of Physics and Chemistry of Solids ИФ(2016)=3,995, SNIP(2016)=0,96

3 рада у Infrared Physics and Technology ИФ(2014)=3,238, SNIP(2014)=1,17, ИФ(2016)=3,238, SNIP(2016)=1,22, ИФ(2016)=3,238, SNIP(2016)=1,47,

1 рад у Processing and Application of Ceramics ИФ(2017)=1,804, SNIP(2017)=0,57

1 рад у Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures ИФ(2020)=3,369 SNIP(2020)=0,84

1 рад у Journal of Spectroscopy ИФ(2023)=1,914, SNIP(2023)=0,83

У категорији М23 (**међународни часопис**) кандидат је, у периоду од 2013. до 2024., објавио радове:

1 рад у Journal of Optoelectronics and advanced materials ИФ(2014)=0,678, SNIP(2014)=0,21

4 рада у Optoelectronics and advanced materials-Rapid communications ИФ(2016)=0,678, SNIP(2016)=0,19, ИФ(2016)=0,678, SNIP(2016)=0,19, ИФ(2022)=0,695, SNIP(2022)=0,19, ИФ(2023)=0,695, SNIP(2023)=0,19,

1 рад у Optical and Quantum Electronics ИФ(2018)=2,794, SNIP(2018)=0,92

Библиографски показатељи сумирани су у следећој табели:

	<b>ИФ</b>	<b>М</b>	<b>SNIP*</b>
Укупно	58,083	136	16,83
Усредњено по чланку	2,074	4,857	0,601
Усредњено по аутору	3,148	7,583	1,057

У категорији М33 **саопштење са међународног скупа штампано у целини**, кандидат има 3 рада. У категорији М34 (**саопштење са међународног скупа штампано у изводу**), у периоду од 2013. до 2024. кандидат је имао 14 излагања на конференцијама међународног значаја, као и 7 поглавља у монографијама М14.

### **3.1.3. Позитивна цитираност научних радова кндидаткиње**



На дан 25. 3. 2024. године, радови др Милице Ћурчић су цитирани више од 250 пута без аутоцитата према бази података Google Scholar. Према тој бази Хиршов фактор кандидата је 8.

#### ***3.1.4. Конкретни научни добринос кандидата у реализацији резултата***

Др Ћурчић је од почетка своје научне делатности запослена на Институту за физику у Београду, где у оквиру Лабораторије за истраживања у области електронских материјала изводи већину експеримената. Сарађивала је и са другим групама у којима су изучавани различити материјали где је колегиница др Милица Ћурчић дала допринос како у комплексној карактеризацији испитиваних узорака тако и у свеобухватној анализи утицаја синтезе на изглед Раманових и фотолуминесцентних спектра.

Кандидат остварује важан допринос у публикацијама, тамо где је први аутор самостално обавља експерименталан рад, обраду и анализу добијених резултата, а као један од коаутора доприноси како експерименталном раду тако и омогућава боље сагледавање, разумевање и интерпретацију добијених резултата. Такође кандидат је својим радом допринела и покретању нових праваца у оквиру постојећих истраживања као и почетку истраживања у новим областима науке и примене Раманове спектроскопије.

#### ***3.1.5. Међународне сарадње***

Др Милица Ћурчић учествује на пројекту у оквиру Споразума о научној сарадњи између Пољске академије наука и Српске академије наука и уметности:

- Elementary excitations in semimagnetic nanocrystals and nanostructures, 2008-до данас.

Кандидаткиња је боравила на Институту за физику, Пољске академија наука, такође је примила и неколико посета.

Као резултат ове сарадње публиковано је укупно 7 рада.

#### **3.2.2. Ангажованост у формирању научних кадрова**

##### ***3.2.1. Педагошки рад***

Др Милица Ђурчић је помогла Мартини Гилић око израде докторске дисертације (Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду 2014. године), а докторанткиња јој се захвалила у тези.

Такође, др Милица Ђурчић је помогла око израде тезе Стевану Димитријевићу (Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду 2015. године).

### **3.3. Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења**

Сваки од овог 28 рада др Милице Ђурчић су експерименталне природе, што често подразумева сарадњу више институција. Имајући то у виду, број коаутора на појединим радовима је већи од 7 и нормирањем бодова тих радова у складу са Правилником Министарства о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата укупан нормирани број М радова износи 123,26 што је и даље знатно више од захтеваног минимума од 50 М бодова за избор у звање виши научни сарадник.

Др Милица Ђурчић је коаутор два патентна решења:

1. П. Коларж, **М. Ђурчић**, М. Гилић, Б. Хацић, **МОДИФИКОВАНИ НОСАЧ ЗА ВЕРТИКАЛНО ПОЗИЦИОНИРАЊЕ ТАБЛЕТНИХ УЗОРАКА ОД ПРАШКАСТИХ МАТЕРИЈАЛА КОЈИ ЈЕ ДЕО КОМОРЕ ЗА ВАКУУМИРАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ КОЈА СЕ КОРИСТИ У СПЕКТРОСКОПСКИМ МЕРЕЊИМА**, Регистар малих патената Завода за интелектуалну својину МП2018/0028 од 19.06.2018. године.

2. Н. Селаковић, Б. Хацић, **М. Ђурчић**, Ј. Митрић, Д. Малетић **РОТИРАЈУЋИ МУЛТИФУНКЦИОНАЛНИ НОСАЧ ЗА РЕПРОДУЦИБИЛНОСТ МЕРЕЊА РАЗЛИЧИТИХ ЧВРСТИХ УЗОРАКА У РАМАНОВОЈ СПЕКТРОСКОПИЈИ**, Регистар малих патената Завода за интелектуалну својину МП2023/0057 од 13.03.2024. године.

### **3.4. Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима**

Др Милица Ђурчић учествује на пројектима Министарства просвете и науке као и на међународним пројектима.

Др Милица Ђурчић учествује на пројектима у оквиру Споразума о научној сарадњи између Пољске академије наука и Српске академије наука и уметности:

- Elementary excitations in semimagnetic nanocrystals and nanostructures, 2008-до данас.

Била је на ангажована је на пројекту Интегралних интердисциплинарних истраживања Министарства просвете и науке Републике Србије – **Оптоелектронски нанодимензиони системи – пут ка примени**, број 45003, 2011–2020.

Др. Милица Ђурчић учествује и на пројекту научног фонда Републике Србије (ИДЕЕ) **Нано објекти у сопственој матрици- својствени композити (НООМ-СеК)**, број 7504386, 2022.-2025.

Кандидаткиња учествује и на пројекту Доказ концепта Института за физику Београд ***Luminescent polish for Object Authentication Security*** (2024.) као и на пројекту Доказ концепта Фонда за науку Републике Србије ***Luminescent polish for Object Authentication Security*** (2024.-2025.)

Кандидат је руководио потпројектом ***Карактеризација наночестица и наноструктурна*** пројекту Оптоелектронски нанодимензиони системи - пут ка примени.

### **3.5. Активност у научним и научностручним друштвима**

Др Ђурчић је чланица Српског керамичког друштва. Члан је Друштва физичара, Друштва за ЕТРАН и Оптичког друштва Србије.

Такође, била је члан организационог одбора конференције ***КОНГРЕС МЕТРОЛОГА 2015***, Златибор, 12-15. октобар 2015. године.

Др Ђурчић била је и члан организационог одбора конференције ***The Seventh Serbian Ceramic Society Conference - Advanced Ceramics and Application***, September 17-19, 2018, Belgrade, Serbia.

Кандидат је рецензент у часописима *Science of Sintering*, *Optoelectronics and Advanced Materials–Rapid Communications*, *Advances in Mathematical Physics*.

### **3.6. Утицај научних резултата**

Значај научних резултата кандидаткиње је описан у тачки 3.1, док се њихов утицај огледа у броју цитата који су наведени у тачки 3.1.3.

### **3.7. Конкретан допринос кандидата у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству**

Др Милица Ћурчић своја истраживања реализује у Институту за физику у Београду. Кандидаткиња је дала кључан допринос у свим радовима где је први аутор, значајно је допринела сваком раду на коме је активно учествовала и дала је одлучујући допринос већини радова на којима је потписана. Њен допринос се огледа у самосталном експерименталном раду, обради добијених резултата као и анализи добијених података. Пошто је реч о експерименталној физици, постављање и извођење експеримента представља значајан део кандидаткињине научне активности, у шта спада припрема апаратуре и припрема узорка за експеримент, али и обрада резултата мерења уз коришћење одговарајућих теоријских модела који подупиру њен експеримент; као и у писању научних чланака и комуникацији са рецензентима. Такође, допринос кандидаткиње представља и рецензирање чланака.

### **3.8. Уводна предавања на конференцијама, друга предавања и активности**

Др Милица Ћурчић је до сада одржала једно предавања по позиву:

- 17<sup>th</sup> Photonics Workshop, Kopaonik, March 10-14, 2024, Book of Abstracts 15 (2024).

## **4. Елементи за квантитативну оцену научног доприноса кандидата др Милице Ћурчић**

### **4.1. Остварени резултати периоду 2013.-2024. године**



Ознака групе	Број радова	Број бодова по раду	Укупан број бодова	Укупан број нормираних бодова
M21a	1	10	10	4,62
M21	3	8	24	21,18
M22	13	5	65	49,09
M23	6	3	18	12,81
M32	1	1,5	1,5	1,5
M33	3	1	3	3
M34	14	0.5	7	6,44
M92	2	12	24	24
Укупно			152,5	123,26

**4.2. Поређење са минималним квантитативним условима за избор у звање научни сарадник**

Минимални број М бодова		Остварено/Нормирано
Укупно	50	152,5/ 123,26
M10+M20+M31+M32+M33 +M41+M42+M90 ≥	40	145,5/116,2
M11+M12+M21+M22+M23 ≥	30	117/87,7

**Списак радова и осталих публикација кандидаткиње,**

## разврстаних по важећим категоријама прописаних правилником

\*су означени радови који улазе у реизбор

### РАДОВИ ОБЈАВЉЕНИ У НАУЧНИМ ЧАСОПИСИМА МЕЂУНАРОДНОГ ЗНАЧАЈА M20

#### Радови у међународном часопису изузетних вредности (M21a):

\* 1. N. Romčević, M. Romcevic, W. D. Dobrowolski, L. Kilanski, **M. Petrovic**, J. Trajic, B. Hadzic, Z. Lazarevic, M. Gilic, J. L. Ristic-Djurovic, N. Paunovic, A. Reszka, B.J. Kowalski, I.V. Fedorchenko, S.F. Marenkin

*Far-infrared spectroscopy of  $Zn_{1-x}Mn_xGeAs_2$  single crystals: plasma damping influence on plasmon - phonon interaction*

Journal of Alloys and Compounds 649 (2015) 375-379.

2. R. Kostić, **M. Petrović Damjanović**, N. Romčević, M. Romčević, D. Stojanović, Mirjana Čomor

*Far-infrared spectroscopy of  $Cd_{1-x}Mn_xS$  quantum dots*

Journal of Alloys and Compounds 521 (2012) 134-140.

3. N. Romčević, **M. Petrović-Damjanović**, M. Romčević, M. Gilić, L. Klotowski, W.D. Dobrowolski, J. Kossut, I.A. Janković, M. Čomor

*Magnetic field influence on optical properties of  $Cd_{1-x}Mn_xS$  ( $x=0; 0.3$ ) quantum dots: photoluminescence study*

Journal of Alloys and Compounds 553, 75-78(2013).

#### Радови у врхунскиммеђународним часописима (M21):

\* 1.M. S. Rabasović, D. Šević, J. Križan, M.D. Rabasović, S. Savić-Šević, M. Mitrić, **M. Petrović**, M. Gilić, N. Romčević

*Structural properties and luminescence kinetics of white nanophosphor YAG:Dy*

Optical Materials 50 (2015) 250-255.

\* 2. J. Trajic, M. Romcevic, **M. Petrovic**, M. Gilic, P. Balaz, A. Zorkovska, N. Romcevic

*Optical properties of the mechanochemically synthesized Cu<sub>2</sub>FeSnS<sub>4</sub>(stannite) nanocrystals: Raman study*

Optical Materials 75 (2018) 314-318.

3. Z.Ž. Lazarević, P. Mihailović, S. Kostić, M.J. Romčević, M. Mitrić, S. Petričević, J. Radunović, **M. Petrović-Damjanović**, M. Gilić, N.Ž. Romčević

*Determination of magneto-optical quality and refractive index of bismut germanium oxide single crystals grown by Czochralski technique*

Optical Materials 34, 1849-1859 (2012).

\*4. Jelena Trajic, **Milica Curcic**, Mariano Casas Luna, Maja Romcevic, Michaela Remesova, Matej Balaz, Ladislav Celko, Karel Dvorak, Nebojsa Romcevic

*Vibrational properties of the mechanochemically synthesized Cu<sub>2</sub>SnS<sub>3</sub>: Raman study*

Journal of Raman spectroscopy, 2022, 1-11

## **Радови у истакнутим међународним часописима (M22):**

1. Z. Lazarević, S. Kostić, V. Radojević, M. Gilić, **M. Petrović Damjanović**, and N. Romčević  
*Raman spectroscopy of bismuth silicon oxide single crystals grown by the Czochralski technique*

Physica Scripta T157 (2013) 014046 (4pp).

\*2. **M. Petrović**, N. Romčević, J. Trajic, W.D. Dobrowolski, M. Romčević, B. Hadžić, M. Gilić, A. Mycielski

*Far-infrared spectroscopy of CdT<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>(In): Phonon properties*

Infrared Physics and Technology 67,(2014), 323-326.

\*3. N. Romčević, M. Gilić, I. Anžel, R. Rudolf, M. Mitrić, M. Romčević, B. Hadžić, D. Joksimović, **M. Petrović Damjanović**, M. Kos

*Determination of microstructural changes by severly plastically deformed copper-aluminium alloy: optical study*

J. Min. Metall. Sect. B-Metall. 50 (1) B (2014) 61 – 68.

\*4. J Trajic, M. Gilić, N. Romčević, M. Romčević, G. Stanišić, B. Hadžić, **M. Petrović**, Y.S. Yahia

*Raman Spectroscopy of Optical Properties in CdS Thin Films*

Science of Sintering 47 (2015) 145-152.

\*5. Milutinovic Aleksandra N, Lazarevic Zorica Z, Jakovljevic Milka M, Hadzic Branka B, **Petrovic M**, Gilic Martina, Dobrowolski Witold Daniel, N. Romčević

*Optical properties of layered III-VI semiconductor gamma-InSe:M (M=Mn, Fe, Co, Ni)*

Journal of Physics and Chemistry of Solids 89 (2016) 120-127.

\*6. M. Gilić, **M. Petrović**, R. Kostić, D. Stojanović, T. Barudžija, M. Mitrić, N. Romčević, U. Ralević, J. Trajić, M. Romčević, I.S. Yahia

*Structural and optical properties of CuSe<sub>2</sub> nanocrystals formed in thin solid Cu-Se film*

Infrared Physics and Technology 76 (2016) 276-284.

\*7. Željka D. Nikitović\*, Martina D. Gilić, **Milica S. Petrović**, Nebojša Z. Romčević, Zoran M. Raspopović, Vladimir D. Stojanović

*Cross Sections and Transport Properties for Na<sup>+</sup> in (DXE) Gas*

Science of Sintering, 48 (2016) 379-386.

\*8. Martina Gilic, **Milica Petrovic**, Jovana Cirkovic, Novica Paunovic, Svetlana Savic-Sevic, Željka Nikitovic, Maja Romcevic, Ibrahim Yahia, Nebojša Romcevic

*Low-temperature photoluminescence of CuSe<sub>2</sub> nano-objects in selenium thin films*

Processing and Application of Ceramics 11 [2] (2017) 127–135.

\*9. **Milica Petrović**, Martina Gilić, Jovana Čirković, Maja Romčević, Nebojša Romčević, Jelena Trajić, Ibrahim Yahia

*Optical Properties of CuSe Thin Films – Band Gap Determination*

Science of Sintering, 49 (2017) 167-174.

\*10. J. Trajic, M. Romcevic, N. Paunovic, **M. Curcic**, P. Balaz, N. Romcevic

*Far-infrared study of the mechanochemically synthesized Cu<sub>2</sub>FeSnS<sub>4</sub>(stannite) nanocrystals*

Infrared Physics & Technology 90 (2018) 66–69.

\*11. **Milica Curcic**, Branka Hadzic, Martina Gilic, V. Radojevic, Andjelika Bjelajac, Ivana Radovic, Dejan Timotijevic, Maja Romcevic, Jelena Trajic, Nebojsa Romcevic

*Surface optical phonon (SOP) mode in ZnS/Poly (methylmethacrylate) nanocomposites*

Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures 115 (2020) 113708.

12. **M. Petrović**, N. Romčević, M. Romčević, G. Stanišić, D. Vasiljević-Radović, J. Trajić, Z. Lazarević, S. Kostić

*Spectroscopy characterization of MnSe nanoclusters randomly distributed in HgMnTe single crystal*

Journal of Crystal Growth 338, 75-79 (2012).

\*13. Nebojsa Romcevic ,Branka Hadzic, Marija Prekajski Đorđević, Peda Mihailovic, **Milica Curcic**, Jelena Trajic, Jelena Mitric, and Maja Romcevic

*Effect of Laser Heating on Partial Decomposition of Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub> (BSO) Single Crystal: Raman Study*

Journal of Spectroscopy, Volume 2023, Article ID 5490018, 8 pages

\*14. **M. Čurčić**, B. Hadžić, M. Gilić, V. Radojević, A. Bjelajac, I. Radović, D. Timotijević, M. Romcević, J. Trajić and N. Romcević

*Surface optical phonon (SOP) mode in ZnS/Poly (methylmethacrylate) nanocomposites*

Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures 115, 113708(2020)

### **Радови у међународним часописима (M23):**

\*1. B. Hadžić, N. Romčević, M. Romčević, I. Kuryliszyn-Kudelska, W. Dobrowolski, M. Gilić, **M. Petrović-Damjanović**, J. Trajić, U. Narkiewicz, D. Sibera

*Raman study of surface optical phonons in ZnO(Co) nanoparticles prepared by calcinations method*

Journal of optoelectronics and advanced materials 16 (5-6) (2014) 508-512.

\*2. S.P. Dimitrijevic, Z. Ž. Lazarevic, \*, M. Rajcic-Vujasinovic, S. B. Dimitrijevic, **M. Petrovic**, M. Gilic, B. M. Jokic

*Raman spectroscopy study of anodic film on Ag<sub>43</sub>Cu<sub>37</sub>Zn<sub>20</sub> alloy*

Optoelectronics and advanced materials-rapid communications, Vol. 10, No. 9-10, September-October 2016, p. 777 – 780.

\*3. **Milica Petrović**, M. Romčević, R. Kostić, N. Romčević, W. D. Dobrowolski, M. Gilić, B. Hadžić, J. Trajić, D. Stojanović, Z. Lazarević

*Optical properties of Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S nanoparticles: off-resonance Raman spectroscopy*

Optoelectronics and advanced materials-rapid communications, 10 (2016) 177 – 179.

\*4. M. Gilic, R. Kostic, D. Stojanovic, M. Romcevic, B. Hadzic, **M. Petrovic**, U. Ralevic, Z. Lazarevic, J. Trajic, J. Ristić-Djurovic, J. Cirkovic, N. Romcevic

*Photoluminescence spectroscopy of CdSe nanoparticle embedded in transparent glass*

Optical and Quantum Electronics (2018) 50:288.

5. J. Trajić, N. Romčević, M. Gilić, **M. Petrović Damjanović**, M. Romčević, V.N. Nikiforov

*Optical properties of PbTe<sub>0.95</sub>S<sub>0.05</sub> single crystal at different temperatures: far-infrared study*

Optoelectronics and Advanced Materials - Rapid Communications 6(5-6), 543-546 (2012).

\*6. N. Romcevic, **M. Curcic**, V. Radojevic, J. Trajic, N. Paunovic, B. Babic, B. Hadzic, M. Romcevic

*Modulated interference effect by ZnS nanoparticles / 3-Mercaptopropyltrimethoxysilane quasi core-shell structure: Far-infrared spectroscopy*



Optoelectronics and advanced materials-rapid communications, Vol. 16, No. 7-8, July-August 2022, p. 359 - 363

\*7. Z. Lazarevic, Lj. Andjelkovic, M. Šuljagic, A. Milutinovic, **M. Curcic**, J. Trajic, N. Paunovic, M. Romcevic, B. Hadzic, N. Romcevic

*Vibrational and magnetic properties of nano-sized CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> obtained by various synthesis techniques: a comparative study*

Optoelectronics and advanced materials-rapid communications, Vol. 17, No. 5-6, May-June 2023, p. 247 – 254

### **ЗБОРНИЦИ СА МЕЂУНАРОДНИХ НАУЧНИХ СКУПОВА (М 30)**

#### **М32:**

\* 1.17<sup>th</sup> Photonics Workshop, Kopaonik, March 10-14, 2024, Book of Abstracts 15 (2024).

#### **М33:**

\* 1. M. Gilić, **M. Petrović**, B. Hadžić, M. Romcević, J. Trajić, N. Romcević, Z. Lazarević, *Structural Properties of Cu-Se-CuSe<sub>2</sub> Thin Films*,

W. E. Lee et al. (eds.), Proceedings of the IV Advanced Ceramics and Applications Conference, Springer Atlantis Press (2017) 235-256.

\* 2. Ž. Nikitović, M. Gilić, Z. Raspopović, **M. Ćurčić** and V. Stojanović, Transport Coefficients for Li<sup>+</sup> in Dimethoxyethane, 29th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, Aug.28-Sep.1, 2018, Belgrade, Serbia, CONTRIBUTED PAPERS AND ABSTRACTS OF INVITED LECTURES, TOPICAL INVITED LECTURES, PROGRESS REPORTS AND WORKSHOP LECTURES 59-62.

\* 3. Ž. Nikitović, M. Gilić, Z. Raspopović, **M. Petrović** and V. Stojanović, Cross Section and Transport Parameters For K<sup>+</sup> in Dimethoxyethane, 28 th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, Aug.29-Sep.2, 2016, Belgrade, Serbia, CONTRIBUTED PAPERS AND ABSTRACTS OF INVITED LECTURES, TOPICAL INVITED LECTURES, PROGRESS REPORTS AND WORKSHOP LECTURES 112-115.

\* 4. Zorica Lazarević, Stevan Dimitrijević, Silvana Dimitrijević, **Milica Petrović**, Martina Gilić, Nebojša Romčević, Raman spectroscopy study of Ag<sub>43</sub>Cu<sub>37</sub>Zn<sub>20</sub> alloy, The 47th

International October Conference on Mining and Metallurgy, October 4-6, 2015, Bor Lake, Bor, Serbia, Proceedings 155-158.

### M34:

\*1. S. Kostić, Z. Ž. Lazarević, M. Romčević, A. Milutinović, V. Radojević, M. Petrović-Damjanović, N. Ž. Romčević, *Growth, Structural and Optical Studies of Neodymium Doped Yttrium Aluminum Garnet*, Book of Abstracts, The Third Serbian Ceramic Society Conference »Advanced Ceramics and Application« September 29-October 1, 2014.

\* 2. M.S. Petrović, M.J. Romčević, N.Ž. Romčević, W.D. Dobrowolski, M.I. Čomor, *Optical Properties of Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S Nanoparticles*, 43<sup>rd</sup> "Jaszowiec" 2014 International School & Conference on the Physics of Semiconductors.

\* 3. Milica Petrović, Martina Gilić, Vladimir Stojanović, Željka Nikitović, Zoran Raspopović, Nebojša Romčević, *The kinetic energy dependence of association reactions for alkali metal ions with dimethoxyethane*, SEVENTEENTH ANNUAL CONFERENCE YUCOMAT 2015 Herceg Novi, August 31-September 4, 2015.

\* 4. M. Gilić, M. Petrović, J. Ćirković, B. Hadzić, M. Romcević, N. Romcević, *Photoluminescence Study of CuSe Thin Films*, PHOTONICA2015 the Fifth international school and conference on photonics 24 August – 28 August 2015 Belgrade, Serbia.

\* 5. M. Petrovic, M. Gilic, B. Hadzic, M. Romcevic, N. Romcevic, J. Trajic, Z. Lazarevic, *Structural and optical properties of chemically deposited copper selenidethin films*, The Fourth Serbian Ceramic Society Conference »Advanced Ceramics and Application IV«September 21-23, 2015.

\* 6. M. S. Rabasovic, D. Sevic, J. Krizan, M. D. Rabasovic, S. Savic-Sevic, M. Mitric, M. Petrovic, M. Gilic, N. Romcevic, *Annealed nanopowders YAG and YAG: Dy prepared by solution combustion synthesis*, The Fourth Serbian Ceramic Society Conference »Advanced Ceramics and Application IV«September 21-23, 2015.

\* 7. N. Romčević, M. Petrović, M. Gilić, V. Stojanović, Ž. Nikitović, Z. Raspopović, *Dependence of the kinetic energy of association reactions for alkali metal ions with DXE*, The Fourth Serbian Ceramic Society Conference »Advanced Ceramics and Application IV«September 21-23, 2015.

\* 8. Martina Gilić, Milica Ćurčić, Jovana Ćirković, Uroš Ralević, Miodrag Mitrić, Tanja Barudžija, Svetlana Savić-Šević, Nebojša Romčević, Ibrahim Yahia, *OR10 Optical and*

*structural characterization of Se–CuSe<sub>2</sub> thin films*, The Fifth Serbian Ceramic Society Conference »Advanced Ceramics and Application V«September 21–23, 2016, Belgrade, Serbia.

\* 9. Branka Hadžić, Nebojsa Romčević, Maja Romčević, Witold Dobrowolski, Martina Gilić, Milica Petrović, Dusanka Stojanović, Željka Nikitović and Zorica Lazarević, *Sample preparation method influence on SOP modes in ZnO(Mn)*, EIGHTEENTH ANNUAL CONFERENCE YUCOMAT 2016 Herceg Novi, September 5-10, 2016.

\* 10. Ž. Nikitović, M. Gilić, Z. Raspopović, M. Petrović and V. Stojanović, *Cross Section and Transport Parameters for K<sup>+</sup> in Dimethoxy Ethane*, 28th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases S P I G 2016.

\* 11. J. Trajic, M. Romcevic, M. Petrovic, M. Gilic, N. Paunovic, P. Balaz, A. Zorkovska, N. Romcevic, *Optical properties of the mechanochemically synthesized Cu<sub>2</sub>FeSnS<sub>4</sub>(stannite) nanocrystals*, The Sixth Serbian Ceramic Society Conference »Advanced Ceramics and Application«September 18-20, 2017, Belgrade, Serbia.

\* 12. Martina Gilić and Milica Ćurčić, *Optical and structural properties of nanostructured semiconductors*, The Seventh Serbian Ceramic Society Conference »Advanced Ceramics and Application«September 17-19, 2018, Belgrade, Serbia.

\* 13. M. Ćurčić, M. Gilić, B. Hadžić, J. Trajić, Z. Lazarević, M. Romčević, V. Radojević, A. Bjelajac, I. Radovic, P. Balaž, N. Romčević, *Preparation and optical properties of ZnS/Poly (methylmethacrylate) nanocomposite*, The Seventh Serbian Ceramic Society Conference »Advanced Ceramics and Application«September 17-19, 2018, Belgrade, Serbia.

\* 14. Ž. Nikitović, M. Gilić, Z. Raspopović, M. Ćurčić and V. Stojanović, *Transport Coefficients for Li<sup>+</sup> in Dimethoxyethane*, 29th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases S P I G 2018.

## **7. МАГИСТАРСКЕ И ДОКТОРСКЕ ТЕЗЕ (М 70)**

### **М 71**

Милица Ђурчић (2013.) *"Испитивање утицаја мангана на оптичке особине ускозонских полупроводника типа Hg<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub> и Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S"* (докторска дисертација).

## **9. ПАТЕНТИ**

**M92**

1. П. Коларж, **М. Ћурчић**, М. Гилић, Б. Хаџић, **МОДИФИКОВАНИ НОСАЧ ЗА ВЕРТИКАЛНО ПОЗИЦИОНИРАЊЕ ТАБЛЕТНИХ УЗОРАКА ОД ПРАШКАСТИХ МАТЕРИЈАЛА КОЈИ ЈЕ ДЕО КОМОРЕ ЗА ВАКУУМИРАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ КОЈА СЕ КОРИСТИ У СПЕКТРОСКОПСКИМ МЕРЕЊИМА**, Регистар малих патената Завода за интелектуалну својину МП2018/0028 од 19.06.2018. године.

2. Н. Селаковић, Б. Хаџић, **М. Ћурчић**, Ј. Митрић, Д. Малетић **РОТИРАЈУЋИ МУЛТИФУНКЦИОНАЛНИ НОСАЧ ЗА РЕПРОДУЦИБИЛНОСТ МЕРЕЊА РАЗЛИЧИТИХ ЧВРСТИХ УЗОРАКА У РАМАНОВОЈ СПЕКТРОСКОПИЈИ**, Регистар малих патената Завода за интелектуалну својину МП2023/0057 од 13.03.2024. године.



Анекс IX Уговора о реализацији Пројекта ИИИ 45003 у периоду април - децембар 2018. године

На основу чл. 10, 97. став 1. и 104. Закона о научноистраживачкој делатности („Службени гласник РС”, бр. 110/05, 50/06-исправка, 18/10 и 112/15) - у даљем тексту: Закон), сагласно Акту о избору, вредновању и финансирању Програма ОИ/ТР/ИИИ број 451-01-967/2010-01 од 20. маја 2010. године (у даљем тексту: Акт), у пројектном циклусу истраживања од 2011. године, чије финансирање се наставља до 31. децембра 2018. године, по Решењу Владе 05 број: 021-162/2018 од 11.01.2018. године („Службени гласник РС”, број 3/18), а у вези са тачком 4. Одлуке о распореду средстава за финансирање истраживања по пројектима одобреним у оквиру програма ОИ/ТР/ИИИ у периоду од 1. априла до 31. децембра 2018. године, број: 451-03-1283/2018-14 од 04.04.2018. године, **уговорне стране:**

- 1) РЕПУБЛИКА СРБИЈА – Министарство просвете, науке и технолошког развоја, Београд, Немањина 22-26, ПИБ 102199748, матични број: 17329235 (у даљем тексту: Министарство), које представља министар просвете, науке и технолошког развоја, и
- 2) РЕАЛИЗАТОРИ ИСТРАЖИВАЊА - учесници у реализацији научноистраживачког пројекта:
  2. 1) Криминалистичко-полицијска академија у Београду, ПИБ 104629251, матични број:17672355, рачун КЈС број 840-0000001751660-26, кога заступа проф. др Горан Бошковић, в.д. декана
  2. 2) Универзитет Џон Незбит, Факултет за пословне студије у Београду, ПИБ 100035467, матични број:17241117, рачун КЈС број 840-0000014505763-46, кога заступа др Татјана Цветковски, декан
  2. 3) Универзитет у Београду, Грађевински факултет, ПИБ 100251144, матични број:07006454, рачун КЈС број 840-0000001437660-59, кога заступа др Бранко Божић, декан
  2. 4) Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, ПИБ 101206130, матични број:07032498, рачун КЈС број 840-0000001438660-66, кога заступа др Мило Томашевић, декан
  2. 5) Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке 'Винча', ПИБ 101877940, матични број:7035250, рачун КЈС број 840-0000000011723-73, кога заступа др Милица Марчета Канински, директор
  2. 6) Универзитет у Београду, Институт за физику, ПИБ 100105980, матични број:7018029, рачун КЈС број 840-0000000020723-39, кога заступа др Александар Богојевић, директор
  2. 7) Универзитет у Београду, Машински факултет, ПИБ 100209517, матични број:07032501, рачун КЈС број 840-0000001876660-28, кога заступа др Радивоје Митровић, декан
  2. 8) Универзитет у Београду, Стоматолошки факултет, ПИБ 100125119, матични број:07001991, рачун КЈС број 840-0000001122660-85, кога заступа др Мирослав Вукадиновић, декан
  2. 9) Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, ПИБ 100123813, матични број:07032552, рачун КЈС број 840-0000001441660-87, кога заступа др Ђорђе Јанаћковић, декан
  2. 10) Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, ПИБ 100724720, матични број:08067104, рачун КЈС број 840-0000001710660-30, кога заступа др Раде Дорословачки, декан



2. 11) Универзитет Унион у Београду, Факултет за пословно индустријски менаџмент у Младеновцу, ПИБ 102520146, матични број:17434977, рачун КЈС број 840-0000009329763-92, кога заступа ,
2. 12) Универзитет Унион, Рачунарски факултет у Београду, ПИБ 102971356, матични број:17489453, рачун КЈС број 840-0000013144763-25, кога заступа Др Драган Милетић , декан  
закључују

#### **Анекс IX**

основног уговора о реализацији Пројекта ИИИ у периоду април - децембар 2018. године у циклусу истраживања од 01.01.2011. до 31.12.2018. године

#### **Члан 1.**

Овим анексом се мења и допуњује основни Уговор о реализацији Пројекта ИИИ, тако што се уређују међусобна права и обавезе уговорних страна и Руководиоца Пројекта у реализацији и финансирању научноистраживачког пројекта: "Оптоелектронски нанодимензиони системи - пут ка примени", евиденциони број ИИИ 45003 (у даљем тексту: Пројекат ИИИ) у периоду април - децембар 2018. године у текућем циклусу истраживања од 01.01.2011. до 31.12.2018. године.

Финансирање реализације Пројекта ИИИ у периоду јануар-март 2018.године извршено је у складу са одлуком број: 451-03-496/2018-14 од 29. јануара 2018. године. Реализатори истраживања на Пројекту ИИИ по овом анексу су правна лица из члана 104. став 1. Закона.

#### **Члан 2.**

Укупан обим истраживања на Пројекту ИИИ износи 342 истраживачких месеци. Руководилац Пројекта ИИИ је др Небојша Ромчевић, научни саветник запослен у научноистраживачкој организацији: Институт за физику у Београду ( у даљем тексту: Руководилац Пројекта).

Одлуку о одређивању другог лица за Руководиоца Пројекта доноси министар, уз прибављено образложено писано мишљење руководиоца свих Реализатора истраживања. Уколико реализатор, на писани захтев, не достави мишљење у року од 8 дана, сматраће се да је мишљење о предлогу за одређивање другог руководиоца позитивно.

Пројекат ИИИ чине следећи потпројекти:

- Потпројекат 1: "Синтеза наноматеријала и структура", чији је руководиоца Мартина Гилић, научни сарадник
- Потпројекат 2: "Теорија оптичких особина наноструктура", чији је руководиоца Милан Тадић, редовни професор
- Потпројекат 3: "Електронски принципи формирања и функционисања наноструктура ", чији је руководиоца Ивана Радисављевић, виши научни сарадник
- Потпројекат 4: "Примена рачунара у повезивању теоријских, експерименталних и примењених истраживања", чији је руководиоца Стеван Милинковић, редовни професор
- Потпројекат 5: "Карактеризација наноћестица и наноструктура", чији је руководиоца Милица Ђурчић, научни сарадник
- Потпројекат 6: "Испитивање електричних карактеристика нових материјала и пројектовање сензора са оптичким влакнима", чији је руководиоца Бранка Хацић, научни сарадник



- Потпројекат 7: "Наноструктурни оптоелектронски сензорски системи", чији је руководилац Пеђа Михаиловић, ванредни професор

### Члан 3.

Овим анексом се утврђује следећи износ и структура буџета Пројекта ИИИ до 31. децембра 2018. године и то:

1) Накнаде за рад истраживача, односно сарадника ангажованих на Пројекту ИИИ (у даљем тексту: истраживач) у бруто износу, одређене су множењем одобрених истраживач-месеци за сваког истраживача, са одговарајућом ценом истраживач-месеца која се утврђује посебном одлуком министра (Прилог 2).

У складу са одредбама члана 7.4. Основног Уговора о реализацији Пројекта ИИИ и члана 36. Акта, истраживачима који почев од датума објављивања Јавног позива (23. маја 2010. године), нису наводили пуну афилијацију приликом публиковања радова на начин утврђен Одлуком министра број 451-03-3558/2011-14 од 18.10.2011. године, накнада за научноистраживачки рад ће од априла 2018. године бити умањена, и то: са износом од 5 уместо 8 истраживач месеци за истраживаче запослене на високошколским установама, односно, са износом од 10 уместо 12 истраживач месеци за истраживаче запослене у институтима и у регистрованим иновационим организацијама из члана 104. Закона. Умањен износ, у складу са чланом 3.2. горе наведене Одлуке, истраживачи ће примати све док Министарству не доставе потписану изјаву да ће при будућем објављивању научних радова писати пуну афилијацију из члана 36. Акта;

2) Директни материјални трошкови истраживања (ДМТ) који су у функцији обављања научноистраживачког рада на Пројекту ИИИ у 2018. години а који су по структури:

2) 1. ДМТ I / режија, трошкови рада лица запослених код реализатора истраживања на стручним, административним и техничким пословима, као и трошкови електричне енергије, воде, грејања, комуналних услуга и сличних трошкова реализатора програма пројектног финансирања.

2) 2. ДМТ II - трошкови који су у функцији обављања научноистраживачког рада на Пројекту ИИИ у 2018. години, а односе се на: набавку потрошног материјала, ситне опреме и ситног инвентара, трошкове службених путовања чланова пројектног тима, трошкове дисеминације резултата истраживања, трошкове услуга истраживачима и сличних трошкова реализатора програма пројектног финансирања у функцији обављања пројектних активности.

### Члан 4.

Саставни делови овог анекса су следећи прилози:

**Прилог 1.** Опис, очекивани кључни резултати и значај истраживања Пројекта ИИИ до 31. децембра 2018. године, програм са динамиком и планом рада, планираним резултатима и роковима реализације истраживања;

**Прилог 2.** Цене истраживач-месеци утврђене за период април-децембар 2018. године у складу са категоријом и истраживачким, научним и сарадничким звањем истраживача из члана 69. Закона, кога су Реализатори истраживања укључили на пројектно финансирање у складу са Законом и чл. 22-24. Акта. Висину утврђене цене истраживач-месеца Министарство може мењати у току реализације Пројекта ИИИ у складу са расположивим буџетским средствима;

**Прилог 3.** Списак истраживача ангажованих код Реализатора истраживања са ознаком категорије у коју су разврстани сагласно чл. 11-18. Акта, са утврђеном накнадом за научноистраживачки рад у бруто износу, која садржи: нето износ за исплату и износ припадајућег пореза и доприноса. Бруто накнада за научноистраживачки рад истраживача који су запослени



### Члан 13.

Овај уговор је сачињен у 16 (шеснаест) истоветних примерака, од којих по један за сваког Реализатора истраживања, један за руководиоца Пројекта, а три за Министарство.

У Београду, дана 19. 04. 2018. године

#### УГОВОРНЕ СТРАНЕ

1. за Универзитет у Београду, Институт за физику

др Александар Богојевић, директор

Ев. број уговора код учесника  
у реализацији Пројекта: ИИИ45003



2. за Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке Винча

проф. др Милица Марчета Канински, декан

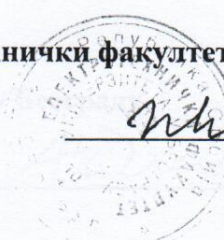
Ев. број уговора код учесника  
у реализацији Пројекта: ИИИ45003



3. за Универзитет у Београду, Електротехнички факултет

проф. др Мило Томашевић, декан

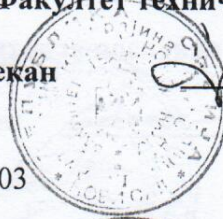
Ев. број уговора код учесника  
у реализацији Пројекта: ИИИ45003



4. за Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука

проф. др Раде Дорословачки, декан

Ев. број уговора код учесника  
у реализацији Пројекта: ИИИ45003



5. за Универзитет у Београду, Грађевински факултет

проф. др Бранко Божић, декан

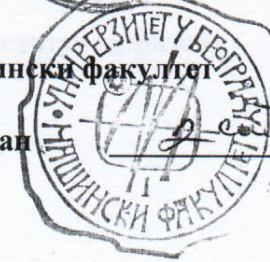
Ев. број уговора код учесника  
у реализацији Пројекта: ИИИ45003



6. за Универзитет у Београду, Машински факултет

проф. др Радивоје Митровић, декан

Ев. број уговора код учесника  
у реализацији Пројекта: ИИИ45003





7. за Универзитет у Београду, Медицински факултет

проф. др Радивоје Митровић, декан

Ев. број уговора код учесника  
у реализацији Пројекта: ИИИ45003

8. за Универзитет у Београду, Стоматолошки факултет

проф. др Мирослав Вукадиновић, декан

Ев. број уговора код учесника  
у реализацији Пројекта: ИИИ45003

9. за Универзитет у Београду, Технолошко-Металуршки факултет

проф. др Ђорђе Јанаковић, декан

Ев. број уговора код учесника  
у реализацији Пројекта: ИИИ45003

10. за Универзитет Унион, Рачунарски факултет

проф. др Драган Милетић, декан

Ев. број уговора код учесника  
у реализацији Пројекта: ИИИ45003

11. Криминалистичко-полицијска академија у Београду

проф. др Горан Бошковић, декан

Ев. број уговора код учесника  
у реализацији Пројекта: ИИИ45003

12. за Универзитет Џон Незбит, Факултет за пословне студије у Београду

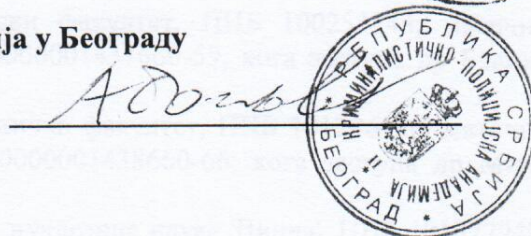
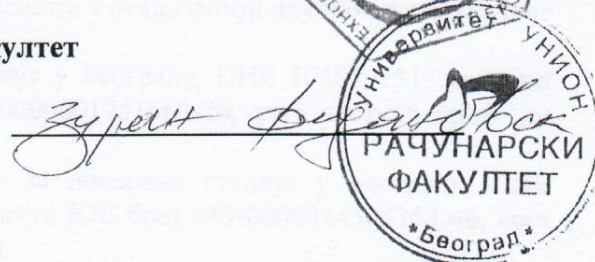
проф. др Татјана Цветковски, декан

Ев. број уговора код учесника  
у реализацији Пројекта: ИИИ45003

13. РУКОВОДИЛАЦ ПРОЈЕКТА

др Небојша Ромчевић, научни саветник

запослен у Универзитет у Београду, Институт за физику



Handwritten signature of Nebojsa Romcevic





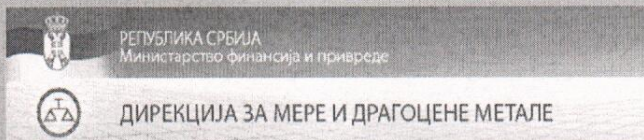
[www.grf.bg.ac.rs](http://www.grf.bg.ac.rs)

ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ  
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ



[www.drustvometrologa.org](http://www.drustvometrologa.org)

ДРУШТВО МЕТРОЛОГА



РЕПУБЛИКА СРБИЈА  
Министарство финансија и привреде



ДИРЕКЦИЈА ЗА МЕРЕ И ДРАГОЦЕНЕ МЕТАЛЕ

[www.dmdm.rs](http://www.dmdm.rs)

ДИРЕКЦИЈА ЗА МЕРЕ И ДРАГОЦЕНЕ  
МЕТАЛЕ



[www.ftn.uns.ac.rs](http://www.ftn.uns.ac.rs)

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА НОВИ САД

## КОНГРЕС МЕТРОЛОГА 2015

Златибор, 12.-15. октобар 2015. године

## ЗБОРНИК РАДОВА

ISBN: 978-86-7518-182-8



# IMPRESUM

Izdavač: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu  
Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

Urednici:

1. V. prof. Siniša Delčev, Univerzitet u Beogradu, Srbija
2. V. prof. Vukan Ogrizović, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Naučni odbor:

1. V. prof. Siniša Delčev, predsednik, Univerzitet u Beogradu, Srbija
2. Prof. Dušan Prodanović, Univerzitet u Beogradu, Srbija
3. Prof. Mladen Boršić, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska
4. Izr. prof. Andrej Štrukelj, Univerza v Mariboru, Slovenija
5. Assist. prof. Andrea Mariscotti, University of Genova, Italy
6. Walter E. Rumpf, Fachhochschule Frankfurt am Main, Germany
7. V. prof. Srđan Damjanović, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Bosna i Hercegovina
8. Prof. Miloš Nedeljković, Univerzitet u Beogradu, Srbija
9. V. prof. Vukan Ogrizović, Univerzitet u Beogradu, Srbija
10. V. prof. Zoran Mitrović, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija
11. dr Branislav Tanasić, Direkcija za mere i dragocene metale, Beograd, Srbija
12. V. prof. Ljiljana Brajović, Univerzitet u Beogradu, Srbija
13. Prof. Dušan Kogoj, Univerzitet u Ljubljani, Slovenija
14. Prof. Adam Wozniak, Warsaw University of Technology, Poland
15. dr Nebojša Romčević, Institut za fiziku, Srbija

Organizacioni odbor:

1. V. prof. Jelena Gučević, predsednik, Univerzitet u Beogradu, Srbija
2. Tamara Đekić, Direkcija za mere i dragocene metale, Srbija
3. dr Martina Gilić, Institut za fiziku, Srbija
4. dr Milica Petrović, Institut za fiziku, Srbija

Tehnički sekretar Kongresa:

1. Stefan Miljković, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Priprema za štampu:

1. Dragana Milićević Sekulić, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Tiraž: 80 primeraka.

ISBN 978-86-7518-182-8

Beograd, oktobar 2015.





**Serbian Ceramic Society Conference  
ADVANCED CERAMICS AND APPLICATION VII  
New Frontiers in Multifunctional Material Science and Processing**

**Serbian Ceramic Society  
Institute of Technical Sciences of SAsA  
Institute for Testing of Materials  
Institute of Chemistry Technology and Metallurgy  
Institute for Technology of Nuclear and Other Raw Mineral Materials**

**PROGRAM AND THE BOOK OF ABSTRACTS**

**Serbian Academy of Sciences and Arts, Knez Mihailova 35  
Serbia, Belgrade, 17-19. September 2018.**



### Organizing Committee

Prof. Dr. Vojislav Mitić SRB  
Dr. Lidija Mančić SRB  
Dr. Nina Obradović SRB  
Prof. Dr. Vladimir Pavlović SRB  
Dr. Dušan Jovanović SRB  
Dr. Vesna Paunović SRB  
Dr. Darko Kosanović SRB

Dr. Anja Terzić SRB  
Dr. Suzana Filipović SRB  
Dr. Vladimir Blagojević SRB  
Dr. Marina Vuković SRB  
Dr. Milica Ćurčić SRB  
Ivana Dinić SRB

### Sponsors & Endorsements:

**Analysis - Lab equipment, Belgrade (Serbia), HARDER digital SOVA d.o.o. Niš**  
Exchange office „Hulk“, LMB Soft, Niš (Serbia), SCAN doo. Preddvor (Slovenia),  
Voda Vrnjci (Serbia) and Turistička organizacija Beograd

### Acknowledgements:

The Conference Organizers are grateful to the  
**Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia**  
for financial support, as well as to the  
Serbian Academy of Sciences and Arts,  
European Academy of Sciences and Arts,  
American Ceramics Society,  
Institute of Technical Sciences of SASA,  
Archeological Institute of SASA,  
Institute of Physics UB,  
Vinča Institute of Nuclear Sciences - Laboratory of Physics (010),  
Electrical Engineering Institute Nikola Tesla  
High School-Academy for Arts and Conservation.





РЕПУБЛИКА СРБИЈА  
Завод за интелектуалну својину  
Београд, Кнегиње Љубице 5

## ИСПРАВА О МАЛОМ ПАТЕНТУ

Број **1597 U1**

Подносиоцима пријаве за признање малог патента  
**КОЛАРЖ, Предрагу, др, Светогорска 30, 11000 Београд, RS;**  
**ЂУРЧИЋ, Милица, др, Слободана Перовића 4/1, 11000 Београд, RS;**  
**ГИЛИЋ, Мартин, др, Бањалучка 2, 11000 Београд, RS;**  
**ХАЦИЋ, Бранки, др, Гандијева 35А, 11000 Београд, RS,**

признат је мали патент под називом  
**МОДИФИКОВАНИ НОСАЧ ЗА ВЕРТИКАЛНО ПОЗИЦИОНИРАЊЕ**  
**ТАБЛЕТНИХ УЗОРАКА ОД ПРАШКАСТИХ МАТЕРИЈАЛА КОЈИ ЈЕ ДЕО**  
**КОМОРЕ ЗА ВАКУУМИРАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ КОЈА СЕ КОРИСТИ У**  
**СПЕКТРОСКОПСКИМ МЕРЕЊИМА**  
по пријави МП - 2018/0028, поднетој 19.06.2018. године.

Мали патент је уписан у Регистар малих патената 03.04.2019. године,  
и објављен у Гласнику интелектуалне својине број 4/2019 дана 30.04.2019. године.

Мали патент важи до 19.06.2028. године, под условом  
да се годишње таксе за његово одржавање редовно плаћају.

Ова исправа издата је на основу члана 110. Закона о патентима,  
("Службени гласник РС", бр. 99/11).

Београд, 03.05.2019. године



Директор

*Владимир Марић*  
Владимир Марић





(51) Int. Cl.  
G12B 9/08 (2006.01)

ZAVOD ZA  
INTELEKTUALNU SVOJINU  
BEOGRAD

(21) Broj prijave: MP-2018/0028  
(22) Datum podnošenja prijave: 19.06.2018.  
(45) Datum objavljivanja malog patenta: 30.04.2019.

(73) Nosioци malog patenta:  
KOLARŽ, Predrag, dr  
Svetogorska 30, 11000 Beograd, RS;  
ČURČIĆ, Milica, dr  
Slobodana Perovića 4/1, 11000 Beograd, RS;  
GILIĆ, Martina, dr  
Banjalučka 2, 11000 Beograd, RS;  
HADŽIĆ, Branka, dr  
Gandijeva 35A, 11000 Beograd, RS

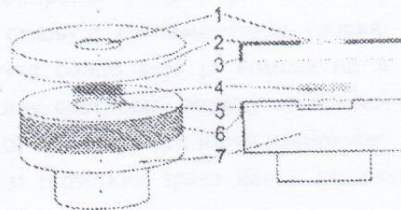
(72) Pronalazači:  
KOLARŽ, Predrag, dr;  
ČURČIĆ, Milica, dr;  
GILIĆ, Martina, dr;  
HADŽIĆ, Branka, dr

(74) Zastupnik:

(54) Naziv: MODIFIKOVANI NOSAČ ZA VERTIKALNO POZICIONIRANJE TABLETNIH UZORAKA OD PRAŠKASTIH MATERIJALA KOJI JE DEO KOMORE ZA VAKUUMIRANJE I HLAĐENJE KOJA SE KORISTI U SPEKTROSKOPSKIM MERENJIMA

(57) Apstrakt:

Pronalazak pripada oblasti eksperimentalne fizike, a odnosi se na rešavanje problema destrukcije tablete od praškastog materijala usled lepljenja na nosač za vertikalno pozicioniranje uzoraka u komori za vakumiranje i hlađenje pri spektroskopskim merenjima. Rešenje ovog problema je modifikacija nosača uzorka koja je suština ovog malog patenta. Modifikovani bakarni nosač ne razara uzorak i rešava problem homogene raspodele temperature po uzorku. Na bakarni nosač (7) pri vrhu bočne strane narezan je navoj (6) sitnog koraka tako da se bakarni poklopac (2) sa navojem (3) može naviti preko tablete (4) koja se nalazi u odgovarajućem udubljenju (5). Bakarni poklopac (2) je profilisan tako da je otvor (1), za 2 mm manji od prečnika tablete (4), koja je standardne veličine od 10 mm.



RS 1597 U1





## Surface optical phonon (SOP) mode in ZnS/Poly (methylmethacrylate) nanocomposites

Milica Curcic<sup>a</sup>, Branka Hadzic<sup>a</sup>, Martina Gilic<sup>a,b</sup>, V. Radojevic<sup>b</sup>, Andjelika Bjelajac<sup>c</sup>, Ivana Radovic<sup>d</sup>, Dejan Timotijevic<sup>a</sup>, Maja Romcevic<sup>a</sup>, Jelena Trajic<sup>a</sup>, Nebojsa Romcevic<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institute of Physics Belgrade, University of Belgrade, 11080, Belgrade, Serbia

<sup>b</sup> Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, 11000, Belgrade, Serbia

<sup>c</sup> Innovation Center of Faculty of Technology and Metallurgy, 11000, Belgrade, Serbia

<sup>d</sup> Vinca Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, 11000, Belgrade, Serbia

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Nanostructured materials  
Optical properties  
Phonons  
Light absorption and reflection

### ABSTRACT

The polymer nanocomposite ZnS/Poly (methylmethacrylate) was prepared by the solution casting method and its structural and optical properties were investigated using XRD, SEM, TEM, HRTEM, and Raman spectroscopy. The basic material, ZnS, has the cubic structure and its crystallite size was estimated to be 2.3 nm, which implies that a strong confinement regime is in effect. Analysis of Raman spectra was performed using the fitting procedure based on effective medium theory. As a result, the surface optical phonon (SOP) mode was detected. It was found that the shape and position of the SOP mode depend on the type of the composite.

### 1. Introduction

As a semiconductor, the zinc sulfide (ZnS) has gained considerable attention and is found to be applicable in optoelectronic, electroluminescent, and blue light emitting diode devices [1–8]. ZnS has two available allotropic forms – the wurtzite and zinc blende. The crystallographic form of wurtzite is hexagonal, whereas the zinc blende has the cubic crystallographic structure, is more stable and as such, is more common of the two. The ZnS in the form of the bulk material has a direct band gap positioned primarily in the UV region [9,10]. The wurtzite and the zinc blende forms have the band gaps of 3.77 and 3.72 eV, respectively. The band gap increases with a decrease in size from the bulk to the nanoscale [11,12]. Since ZnS easily absorbs moisture and oxidizes in air [13], it is not very stable as a pure compound in the atmosphere. Therefore, surfactants or capping agents are added to the ZnS nanoparticles to prevent structural transformation and surface reactions.

A nanocomposite consists of two or more different materials in which at least one of the components has a dimension smaller than 100 nm [14]. In polymer nanocomposites, the composing elements are an organic polymer matrix and inorganic components (semiconductors). Nanocomposites can include three dimensional metal matrix composites, lamellar composites, colloids, porous materials, gels, as well as copolymers in which nanosized material is dispersed within the bulk

matrix. The properties of the nanocomposites depend on their components, morphology, and interface characteristic. In order to extend the area of their potential applications, mechanical, thermal, and electronic properties of conventional polymer materials had to be improved [15, 16]. As a thermoplastic polymer, Poly (methylmethacrylate) i.e. PMMA has many excellent properties. Its favorable properties include excellent transparency and ultraviolet resistance, as well as good abrasion resistance, hardness, and stiffness. Consequently, it is widely used in many applications, for example in lenses, light pipes, bathroom fittings, skylights, toys, etc. In addition, PMMA is non-degradable and biocompatible, which qualifies it for use in tissue engineering where typical applications are fracture fixations, intraocular lenses, and dentures [17].

For nanocrystals of relatively small dimensions, surface modes and the effects of dimension are expected to appear, along with the normal modes of an infinite lattice. Namely, in the frequency range between longitudinal optical phonon frequency ( $\omega_{LO}$ ) and transversal optical phonon frequency ( $\omega_{TO}$ ), a new mode known as a surface optical phonon (SOP) mode appears.

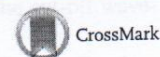
In our previous papers [18–22] we worked on investigating surface optical phonons (SOP) in semiconducting nanoparticles or thin films. In all those cases, SOP appeared because the nano-objects of investigated materials were well separated in the air.

In this paper we report the synthesis and structural and optical

\* Corresponding author.

E-mail address: [martina@ipb.ac.rs](mailto:martina@ipb.ac.rs) (M. Gilic).





## Photoluminescence spectroscopy of CdSe nanoparticles embedded in transparent glass

M. Gilic<sup>1</sup> · R. Kostic<sup>1</sup> · D. Stojanovic<sup>1</sup> · M. Romcevic<sup>1</sup> · B. Hadzic<sup>1</sup> · M. Petrovic<sup>1</sup> · U. Ralevic<sup>1</sup> · Z. Lazarevic<sup>1</sup> · J. Trajic<sup>1</sup> · J. Ristic-Djurovic<sup>1</sup> · J. Cirkovic<sup>2</sup> · N. Romcevic<sup>1</sup>

Received: 13 October 2017 / Accepted: 23 June 2018  
© Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2018

### Abstract

In this paper we present photoluminescence measurements of CdSe nanoparticles embedded in transparent glass. Sample is prepared using an original technique, which combines both heat treatment and ultraviolet laser irradiation. Photoluminescence spectra displayed one main emission band at 2.14 eV. We identify this bands energy as basic interband transition in CdSe nanoparticle. We calculated energy of basic ( $1s_h-1s_c$ ) transition in spherical CdSe quantum dot (QD), within infinite potential barrier, in effective-mass approximation. On the basis of this model, average radius of synthesized CdSe QDs is about 3 nm, which is in consistence with AFM measurements and UV-VIS absorption measurements.

**Keywords** Cadmium selenide · Nanoparticles · Photoluminescence · AFM · Effective mass approximation

### 1 Introduction

Glasses doped with nanosized inclusions of metals or semiconductors are known since a very long time. The first glasses containing metal nanoparticles were fabricated by Roman glassmakers in the fourth century A.D. Medieval cathedral windows through several European countries witness the attention drawn by stained glasses containing metal aggregates as artistic work (Poole et al. 2003). They exhibit great varieties of beautiful colors owing to the nanosized metal particles which were embedded in the glass matrix.

Semiconductor-doped glasses were, however, not so widespread used. One very important application of semiconductor-doped glasses are sharp cut-off glass filters. In most cases, Cd

---

This article is part of the Topical Collection on Focus on Optics and Bio-photonics, Photonica 2017.

---

Guest Edited by Jelena Radovanovic, Aleksandar Krmpot, Marina Lekic, Trevor Benson, Mauro Pereira, Marian Marciniak.

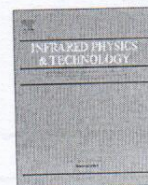
---

✉ M. Gilic  
martina@ipb.ac.rs

<sup>1</sup> Institute of Physics Belgrade, University of Belgrade, Pregrevica 118, Zemun 11080, Serbia

<sup>2</sup> Institute for Multidisciplinary Research, University of Belgrade, Kneza Visislava 1, Belgrade 11000, Serbia





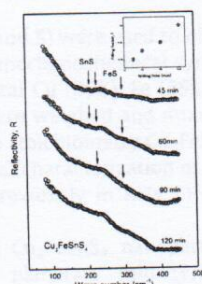
## Regular article

Far-infrared study of the mechanochemically synthesized  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  (stannite) nanocrystalsJ. Trajic<sup>a,\*</sup>, M. Romcevic<sup>a</sup>, N. Paunovic<sup>a</sup>, M. Curcic<sup>a</sup>, P. Balaz<sup>b</sup>, N. Romcevic<sup>a</sup><sup>a</sup> Institute of Physics, University of Belgrade, 11080 Belgrade, Serbia<sup>b</sup> Institute of Geotechnics, Slovak Academy of Sciences, 043 53 Kosice, Slovakia

## HIGHLIGHTS

- Stannite  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  nanocrystals were synthesized mechanochemically.
- Optical properties and compositional purity of  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  nanocrystals were characterized.
- Optical properties were investigated by Far-infrared spectroscopy.
- The influence of the milling time on synthesis of the stannite  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  was observed.

## GRAPHICAL ABSTRACT



## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 25 December 2017

Revised 22 February 2018

Accepted 22 February 2018

Available online 23 February 2018

## Keywords:

Nanostructures

Optical properties

Far-infrared spectroscopy

## ABSTRACT

The analysis of the optical properties of mechanochemically synthesized stannite  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  nanocrystals has been performed using far-infrared spectroscopy. The  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  stannite nanocrystals were synthesized mechanochemically from elemental precursors Cu, Fe, Sn, and S. Milling time was 45, 60, 90 and 120 min. Reflectivity spectra were analyzed using the classical form of the dielectric function, which includes the phonon and the free carrier contribution. The influence of milling time on synthesis of stannite  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  is observed. Among the modes that are characteristic for the stannite  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ , we registered the modes of binary phases of FeS and SnS. The total disappearance of the binary phases of FeS and SnS and forming pure  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  is observed when the milling time is 120 min. Effective permittivity of  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  and binary phases of FeS and SnS were modeled by Maxwell – Garnet approximation.

© 2018 Elsevier B.V. All rights reserved.

## 1. Introduction

Stannite ( $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ ) is one of the best-known sulphide minerals, not only because of its economic importance as a tin ore, but also because of its structural and physical characteristics [1] such as adequate direct band gap (1.0–1.5 eV), low toxicity and a relatively high abundance of the elements in the Earth's crust [2]. Its constituents are abundantly available [3].

To deal with the increasingly severe energy crisis, research on high-efficient and low-cost solar cells is of pressing need and of

great significance. Various types of semiconductors such as CdTe,  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$  and  $\text{TiO}_2$ , have been extensively studied for thin film solar cells. Nevertheless, due to the toxicity of Cd and the limited availability of In and Ga, naturally abundant and non-toxic photo-voltaic materials are of considerable interest [4]. Quaternary semiconductor  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  is one of promising photovoltaic materials as an alternative absorber layer for the development of low-cost and environment-friendly thin film solar cells due to its analogous crystal structures to  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ , suitable band gap and high absorption coefficient [5].

Several low-cost, highly efficient, environmental friendly and easy-to operate methods have been developed for preparation of  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ , such as pulse laser and electro deposition [6], hot

\* Corresponding author.

E-mail address: [jelena@ipb.ac.rs](mailto:jelena@ipb.ac.rs) (J. Trajic).





## Optical properties of the mechanochemically synthesized $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ (stannite) nanocrystals: Raman study

J. Trajic<sup>a,\*</sup>, M. Romcevic<sup>a</sup>, M. Petrovic<sup>a</sup>, M. Gilic<sup>a</sup>, P. Balaz<sup>b</sup>, A. Zorkovska<sup>b</sup>, N. Romcevic<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institute of Physics, University of Belgrade, 11080 Belgrade, Serbia

<sup>b</sup> Institute of Geotechnics, Slovak Academy of Sciences, 043 53 Kosice, Slovakia

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 28 September 2017

Received in revised form

25 October 2017

Accepted 28 October 2017

#### Keywords:

Nanostructures

Optical properties

X-ray diffraction

Raman spectroscopy

### ABSTRACT

The analysis of the vibrational properties of mechanochemically synthesized stannite  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  nanocrystals has been performed. X-ray diffraction (XRD) and Raman spectroscopy are techniques used to characterize the crystal structure and compositional purity of stannite  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  nanoparticles. The detailed analysis of the experimental spectra has allowed us to determine the frequency and symmetry assignment of the main and weaker peaks. The milling time influence on synthesis stannite  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  from elemental precursors Cu, Fe, Sn and S is observed. Among the peaks that are characteristic for the stannite  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ , we registered the modes of binary phases of FeS and SnS. The total disappearance of the binary phases of FeS and SnS is observed when the milling time is longer than 90 min.

© 2017 Published by Elsevier B.V.

### 1. Introduction

Intensive research has been conducted on the development of earth-abundant solar cells to replace high-efficiency solar cells, which use the rare and expensive elements like In, Ga and Te and toxic elements like Cd and Se. Recently, a new approach has emerged for a large-scale fabrication of solar cells based on the synthesis of nanocrystals that can be either annealed into large-grain thin films for the second generation solar cells, or used it to fabricate into nanocrystal arrays for the third generation solar cells.

The quaternary chalcogenide  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  (CFTS) is important and interesting material because it has many suitable characteristics for photovoltaic and optoelectronic applications, such as adequate direct band gap (1.0–1.5 eV), low toxicity and a relatively high abundance of the elements in the Earth's crust [1], and its constituents are abundantly available [2].

Theoretical calculations have demonstrated that the presence of tetrahedrally coordinated copper atoms is a critical feature for the exhibition of good photovoltaic properties of chalcogenide absorbers [3].  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  (CFTS) is a tetrahedrally coordinated semiconductor in which each sulphur anion is bonded to four cations and each cation is bonded to four sulphur anions, which enabled

$\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  to be another possible earth-abundant alternative material for solar cell applications [4–6]. Compared with inefficient traditional sputtering [7] or evaporation [8] methods of preparing  $\text{Cu}_2\text{II–IV–VI}_4$  group semiconductor materials, low-cost, highly efficient, environmental friendly and easy-to operate solution approaches have been studied widely, such as pulse laser and electro deposition [9], hot injection [10], electrospinning [11], dip coating [12], and microwave assisted approach [13–15]. However, these techniques are complex as well as time-consuming, and require high temperature, while in some cases it is necessary to use the toxic organic solvents. Mechanochemical treatment is a powerful technique for synthesis of a wide range of materials where the high energy milling is being applied to induce and speed up chemical reactions [16,17]. This approach is simple, solvent-free, and reproducible, and also the synthesis might be easily scaled up.

X-ray diffraction (XRD) and Raman spectroscopy are the most commonly used techniques to characterize the crystal structure and compositional purity of stannite  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  nanoparticles. In contrast with XRD based techniques, Raman scattering can provide more reliable information about the crystalline structure of the samples and the potential presence of structural and chemical inhomogeneities as secondary phases or polytypes, and also localize them spatially [18]. Various methods, including Raman spectroscopy of quaternary crystals have been the subject of intensive researches over the last few years. For example, Raman spectroscopy was used to analyze polycrystalline thin films of  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  [2,19],

\* Corresponding author.

E-mail address: [jelena@ipb.ac.rs](mailto:jelena@ipb.ac.rs) (J. Trajic).



UDK 621.315.59, 535.37

## Optical Properties of CuSe Thin Films – Band Gap Determination

Milica Petrović<sup>1\*)</sup>, Martina Gilić<sup>1</sup>, Jovana Ćirković<sup>2</sup>, Maja Romčević<sup>1</sup>,  
Nebojša Romčević<sup>1</sup>, Jelena Trajić<sup>1</sup>, Ibrahim Yahia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physics, University of Belgrade, Pregrevica 118, Belgrade, Serbia

<sup>2</sup>The Institute for Multidisciplinary Research, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

<sup>3</sup>Nano-Science and Semiconductors Labs., Physics department, Faculty of Education, Ain Shams University, Roxy, Cairo, Egypt

### Abstract:

Copper selenide thin films of three different thicknesses have been prepared by vacuum evaporation method on a glass substrate at room temperature. The optical properties of the films were investigated by UV-VIS-NIR spectroscopy and photoluminescence spectroscopy. Surface morphology was investigated by field-emission scanning electron microscopy. Copper selenide exhibits both direct and indirect transitions. The band gap for direct transition is found to be  $\sim 2.7$  eV and that for indirect transition it is  $\sim 1.70$  eV. Photoluminescence spectra of copper selenide thin films have also been analyzed, which show emission peaks at 530, 550, and 760 nm. The latter corresponds to indirect transition in investigated material.

**Keywords:** Copper selenide; Thin films; Semiconductors; UV-VIS-NIR spectroscopy; Photoluminescence spectroscopy.

### 1. Introduction

Copper selenides are interesting metal chalcogenide semiconductor materials. They exist in many phases and structural forms: different stoichiometry such as CuSe (klockmannite),  $\text{Cu}_2\text{Se}_x$ ,  $\text{CuSe}_2$  (marcasite),  $\alpha$ - $\text{Cu}_2\text{Se}$  (bellidoite),  $\text{Cu}_3\text{Se}_2$  (umagnite),  $\text{Cu}_5\text{Se}_4$  (athabaskite),  $\text{Cu}_7\text{Se}_4$  etc., as well with non-stoichiometric form such as  $\text{Cu}_{2-x}\text{Se}$  (berzelianite), and can be constructed into several crystallographic forms (monoclinic, cubic, tetragonal, hexagonal, etc.). Their color ranges from blue black to bluish green depending on the type of stoichiometric composition. Special constitutions of these compositions make copper selenide an ideal candidate for scientific research.

Copper selenide is a semiconductor with p-type conductivity. It has both direct and indirect transitions so the presence of both band gaps, direct and indirect, is observed. The band gap of copper selenide is not well defined. Literature data are quite controversial: direct allowed transitions are reported to have corresponding band gap in the range of 2 to 3 eV, and indirect band gap between 1.1 and 1.5 eV [1-4]. The indirect band gap being near the optimum value for solar cell applications makes this material capable to potentially offer a high efficiency of conversion. However, copper selenide nanoparticles have been reported to

\*) Corresponding author: [milicap@ipb.ac.rs](mailto:milicap@ipb.ac.rs)





## Low-temperature photoluminescence of CuSe<sub>2</sub> nano-objects in selenium thin films

Martina Gilić<sup>1,\*</sup>, Milica Petrović<sup>1</sup>, Jovana Ćirković<sup>2</sup>, Novica Paunović<sup>1</sup>,  
Svetlana Savić-Sević<sup>1</sup>, Željka Nikitović<sup>1</sup>, Maja Romčević<sup>1</sup>, Ibrahim Yahia<sup>3</sup>,  
Nebojša Romčević<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physics Belgrade, University of Belgrade, Pregrevica 118, Belgrade, Serbia

<sup>2</sup>The Institute for Multidisciplinary Research, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

<sup>3</sup>Nano-Science and Semiconductors Labs., Physics Department, Faculty of Education, Ain Shams University, Roxy, Cairo, Egypt

Received 8 December 2016; Received in revised form 28 March 2017; Accepted 17 May 2017

### Abstract

Thin films of CuSe<sub>2</sub> nanoparticles embedded in selenium matrix were prepared by vacuum evaporation method on a glass substrate at room temperature. The optical properties of the films were investigated by photoluminescence spectroscopy ( $T = 20\text{--}300\text{ K}$ ) and UV-VIS spectroscopy ( $T = 300\text{ K}$ ). Surface morphology was investigated by scanning electron microscopy. The band gap for direct transition in CuSe<sub>2</sub> was found to be in the range of 2.72–2.75 eV and that for indirect transition is in the range of 1.71–1.75 eV determined by UV-VIS spectroscopy. On the other hand, selenium exhibits direct band gap in the range of 2.33–2.36 eV. All estimated band gaps slightly decrease with the increase of the film thickness. Photoluminescence spectra of the thin films clearly show emission bands at about 1.63 and 2.32 eV at room temperature, with no shift observed with decreasing temperature. A model was proposed for explaining such anomaly.

**Keywords:** chalcogenides, thin films, optical properties, spectroscopy, SEM

### I. Introduction

Selenides of copper (Cu-Se) exist in many phases and structural forms: i) stoichiometric forms, such as CuSe (klockmannite), Cu<sub>2</sub>Se<sub>x</sub>, CuSe<sub>2</sub> (marcasite),  $\alpha$ -Cu<sub>2</sub>Se (bellidoite), Cu<sub>3</sub>Se<sub>2</sub> (umangite), Cu<sub>5</sub>Se<sub>4</sub> (athabaskite), Cu<sub>7</sub>Se<sub>4</sub> etc., as well as ii) non-stoichiometric forms, such as Cu<sub>2-x</sub>Se (berzelianite). All those phases can be classified into several crystallographic forms (monoclinic, cubic, tetragonal, hexagonal, etc.). Copper selenide is a semiconductor with p-type conductivity, and has numerous applications in various devices, such as solar cells [1–3], photo detectors [4], optical filters [5], microwave shielding [6], thermoelectric converters [7], etc. Photovoltaic cells and Schottky diodes are also based on these metal chalcogenide compounds [8,9]. CuSe<sub>2</sub> is a superconductor at low temperatures with a transition temperature  $T_C \sim 2.4\text{ K}$  [10], and has a weak ferro-

magnetic response below 31 K [11,12]. CuSe<sub>2</sub> is widely used as a precursor material for CuInSe<sub>2</sub> (CIS) and Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> (CIGS) preparation, suitable for highly efficient photovoltaic elements [13]. Also, CuSe<sub>2</sub> is used as a typical anion conductor and significant Cu-Se alloys targets for the preparation of CIGS/CIS thin film solar cells in RF magnetic sputtering [14].

Possible application of Cu-Se strongly depends on its optical properties. Despite the numerous publications of the optical properties of Cu-Se thin films, the estimated value of band gap of Cu-Se is not well defined. Cu-Se has both direct and indirect transitions, so the presence of both band gaps, direct and indirect, can be observed. Literature data are quite controversial: direct allowed transitions are reported to have corresponding band gap in the range of 2 to 3 eV, and indirect band gap between 1.1 and 1.5 eV [15–18]. The indirect band gap being near the optimum value for solar cell applications makes this material capable of potentially offer a high efficiency of conversion. However, Cu-Se nanoparticles

\*Corresponding author: tel: +381 11 3713 036,  
fax: +381 11 3713 052, e-mail: [martina@ipb.ac.rs](mailto:martina@ipb.ac.rs)



UDK 531.3; 546.33

## Cross Sections and Transport Properties for Na<sup>+</sup> in (DXE) Gas

Željka D. Nikitović<sup>\*)</sup>, Martina D. Gilić, Milica S. Petrović, Nebojša Z. Romčević, Zoran M. Raspopović, Vladimir D. Stojanović

Institute of Physics, University of Belgrade, Pregrevica 118, Belgrade, Serbia

### Abstract:

*In this work we select most probable reactions of alkali metal ion Na<sup>+</sup> with dimethoxyethane (DXE) molecule. Appropriate gas phase enthalpies of formation for the products were used to calculate scattering cross section as a function of kinetic energy with Denpoh-Nanbu theory. Calculated cross sections were compared with existing experimental results obtained by guided ion beam tandem mass spectrometry. Three body association reactions of ions with DXE is studied and compared to experimental results. Calculated cross sections were used to obtain transport parameters for alkali metal ion in DXE gas.*

**Keywords:** DXE molecule, Na<sup>+</sup>, Monte Carlo simulation, Denpoh-Nanbu method.

### 1. Introduction

Field-assisted sintering technique/Spark plasma sintering (FAST/SPS) is a low voltage, direct current (DC) pulsed current activated, pressure-assisted sintering and synthesis technique [1]. It has been widely applied in materials processing in recent years.

Cold plasmas are often used in new technologies where they offer methods for nonintrusive production or modification of specific substances [2]. Main characteristics of these plasmas are their high electron temperature and low gas temperature. Dimethoxy-containing compounds, such as dimethoxyethane (DXE), can be produced from dimethyl ether by using dielectric barrier discharge (DBD) plasmas containing water vapor at atmospheric pressure [3]. As clear and colorless liquid at room temperature and atmospheric pressure, DXE is used as a precursor in production of ceramics [4] or as a sole compound to make other chemicals such as those used in lithium batteries production [5-8], superconductor production [9], nanoparticles synthesis [10-12], in etherification [13] etc.

Very limited information exists about processes taking place in these or similar complex plasmas. Therefore in this study we will analyze transport properties of ions in DXE gas since ions are not only inducing products of reactions but also large number of radicals.

At atmospheric pressure three body reactions of ions are of increasing complexity for modeling reaction kinetics. In many modeling cases information about the three body processes is missing. Denpoh-Nanbu theory (DNT) [14] can be exploited to calculate cross section sets as a function of the kinetic energy for cases where no or limited information is available about scattering data [15]. Nikitović et al. [16] showed how radiative association for three body reactions can be included into cross section set obtained by DNT. Approach presented in [16] is compared with existing experimental data for association cross section as a function of pressure [17] and showed good agreement at energies below few eV. Such information is of great importance in atmospheric pressure plasmas containing complex

<sup>\*)</sup> Corresponding author: [zeljka@ipb.ac.rs](mailto:zeljka@ipb.ac.rs)



# Raman spectroscopy study of anodic film on $\text{Ag}_{43}\text{Cu}_{37}\text{Zn}_{20}$ alloy

S. P. DIMITRIJEVIĆ<sup>a</sup>, Z. Ž. LAZAREVIĆ<sup>b,\*</sup>, M. RAJČIĆ-VUJASINOVIĆ<sup>c</sup>, S. B. DIMITRIJEVIĆ<sup>d</sup>,  
M. PETROVIĆ<sup>b</sup>, M. GILIĆ<sup>b</sup>, B. M. JOKIĆ<sup>e</sup>

<sup>a</sup>Innovation Center Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

<sup>b</sup>Institute of Physics, University of Belgrade, P.O. Box 68, Belgrade, Serbia

<sup>c</sup>Technical Faculty in Bor, University of Belgrade, Bor, Serbia

<sup>d</sup>Mining and Metallurgy Institute Bor, Bor, Serbia

<sup>e</sup>Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

The objective of this study was characterization of anodic film obtained when  $\text{Ag}_{43}\text{Cu}_{37}\text{Zn}_{20}$  alloy was treated electrochemically in 3.5% wt. NaCl under potentiostatic conditions. At the potential of +0.25 V a complex multilayer film is formed. XRD shows that it consists of CuCl and zinc hydroxichlorides with a small amount of  $\text{Cu}_2\text{O}$ , probably formed in the film pores. The anodic film is a mixture of  $\text{Cu}_2\text{O}$ , CuCl,  $\text{Zn}_5(\text{OH})_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$  and  $\beta\text{-Zn}(\text{OH})\text{Cl}$ . Phases of the alloy, Ag and Cu rich, show different anodic behavior. It was assumed that all phonon lines in the obtained Raman spectra were of the Lorentzian type, which is one of the common type of lines for this kind of analysis. Phases of Ag, CuCl,  $\beta\text{-Zn}(\text{OH})\text{Cl}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$  and  $\text{Zn}_5(\text{OH})_8(\text{Cl})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  were all registered by XRD.

(Received July 8, 2015; accepted September 29, 2016)

**Keywords:**  $\text{Ag}_{43}\text{Cu}_{37}\text{Zn}_{20}$  alloy, Anodic film, Brazing materials, Raman spectroscopy

## 1. Introduction

Silver based brazing filler alloy are used for joining most ferrous and nonferrous metals, except Al and Mg. This classification includes a range of silver based filler metal compositions which may have various additions such as Cu, Zn, Cd, Sn, Mg, Ni and Li.

Generally speaking, the addition of Zn lowers the melting temperature of the Ag-Cu binary alloys and helps wet Fe, Co and Ni. Cd is also effective in lowering the brazing temperature of these alloys and assists in wetting a variety of base metals. Especially, Cd and Zn are vaporized during brazing.

The joining technique of copper alloy to steel has been widely applied in nuclear, aerospace and industry fields [1-3]. The conventional fusion welding of these materials usually leads to the irregularity interface and welding deficiency between copper alloy and steel [4, 5].

Silver based brazing filler alloys are commercially available as both wrought and cast products, including wire and cable, sheet, strip, plate, rod, bar, tubing, forgings, extrusions, castings and powder metallurgy shapes. Certain mill products, chiefly wire, cable and most tubular products, are used by customers without further metal working. On the other hand, most flat rolled products, rod, bar, mechanical wire, forgings and castings go through multiple metal working, machining, finishing and/or assembly operations before emerging as finished products.

Electrochemical properties in chloride solutions of the alloys that belong to the Ag-Zn-Cu system are investigated

recently [6, 7]. These alloys do not show an anodic passive film region on polarization curves, although they have anodic film on the surface. The aim of the present work was to structural and spectroscopic study of electrochemically treated Ag-Cu-Zn alloy in 3.5% wt. NaCl.

## 2. Experimental procedures

The silver (99.99%), copper (99.99%) and zinc (99.995%) for electrode preparation were produced by recycling process. More details of the process and analytics can be found elsewhere [8-10]. The alloy for the electrode was prepared by ingot metallurgy method in two phases. The second, repeated, process was required due to high zinc losses for small charges. The obtained ingot was machined into cylinders with 7.14 mm diameter. It was subjected to homogenization annealing at 600 °C ( $T=0.92 T_{\text{melt}}$ ) for 24 h in nitrogen atmosphere and slowly cooled for the next 8 h to the room temperature in the same protective atmosphere. Finally, the specimen was mounted in polytetrafluoroethylene mould. Chemical composition (wt.%) of the alloy used in the present study was 43.5% Ag, 37.7% Cu, 18.8% Zn, and trace amounts (in total less than 20 wt. ppm) of Pb, Sn, Ni, Fe and Cd, according chemical analysis performed by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy. This composition fulfills requirements of BS1845:1984 Ag5 standard [11].

All chemicals were of analytical grade produced by Merck (Germany). All solutions were prepared with ultra-



# Optical properties of $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$ nanoparticles: off-resonance Raman spectroscopy

M. PETROVIĆ, M. ROMČEVIĆ, R. KOSTIĆ, N. ROMČEVIĆ, W. D. DOBROWOLSKI<sup>a</sup>, M. GILIĆ, B. HADŽIĆ, J. TRAJIĆ, D. STOJANOVIĆ, Z. LAZAREVIĆ

*Institute of Physics, Pregrevica 118, Belgrade, 11080 Serbia*

<sup>a</sup>*Institute of Physics PAS, Lotnikow 32/46, Warsaw, 02-668 Poland*

$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$  nanoparticles ( $x=0.05-0.4$ ) with average particle size of about 2.2nm were synthesized using the colloidal chemistry method and characterized by Raman scattering measurements. The dominant Raman line of  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$  nanoparticles was at about  $300\text{cm}^{-1}$  showing asymmetric broadening for  $\omega < 300\text{cm}^{-1}$ . Significant change in the line intensity for different Mn content  $x$  and excitation wavelength  $\lambda$  was noticed.

(Received February 4, 2015; accepted April 5, 2016)

**Keywords:** Nanostructured materials, Semiconductors, Optical properties, Raman spectroscopy

## 1. Introduction

$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$  nanoparticles (NPs) with size quantum confinement belong to the diluted magnetic semiconductor quantum dot class of materials that has been widely studied in the last few years. The study of diluted magnetic semiconductors, such as  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$  quantum dots, is strongly motivated due to the localization of magnetic ions in the same places as the free-like electron and hole carriers occurring in these nanomaterials [1,2]. This interesting phenomenon causes unique properties in diluted magnetic semiconductor dots that can be explored in different technological applications, such as wavelength tunable laser [3], solar cells [4,5], spintronic devices [6], etc.  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$  is a typical example of diluted magnetic semiconductor.  $\text{Mn}^{2+}$  ions can be incorporated in  $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$  semiconductor host in large proportions without substantially altering the crystallographic quality of the material. Finally,  $\text{Mn}^{2+}$  ion is electrically neutral in an  $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$  host, thus avoiding the formation of any acceptor or donor impurities in the crystal.

Vibrational spectroscopy (Raman spectroscopy) is a powerful, non-destructive technique sensitive to local environment, ideal for *in site* probing during growth and device fabrication and operation [7]. Similar as for the bulk materials, Raman spectroscopy provides information about optical vibrational modes of semiconductor nanoparticles [8-10].

In this paper, we present a continuation of our effort to understand the properties of powders consisting of nanosized diluted magnetic semiconductors prepared using colloidal chemistry method. The influence of the composition and the excitation wavelength on the Raman active vibrations were studied in detail.

## 2. Synthesis and characterization

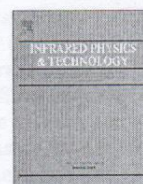
Colloidal dispersions consisting of  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$  NPs were prepared by mixing a solution containing  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{MnSO}_4$  with a solution containing  $\text{Na}_2\text{S}$  in the presence of surface active agent hexametaphosphate ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>. The concentration of cations ( $[\text{Cd}^{2+}] + [\text{Mn}^{2+}]$ ) was constant ( $2 \times 10^{-3}\text{M}$ ), while  $\text{S}^{2-}$  ions were used in excess ( $2.4 \times 10^{-3}\text{M}$ ). The concentration of  $(\text{NaPO}_3)_6$  was  $2 \times 10^{-2}\text{M}$ . Light and air were excluded during the preparation of this colloid. After precipitation of colloidal particles, the solvent was removed by vacuum evaporation at room temperature. The obtained yellow powders could be redissolved in water to give a colloid with the same structured absorption spectrum as the solution before evaporation. The content of  $\text{Mn}^{2+}$  ions was up to  $x=0.3$  and was checked out by X-ray dispersive fluorescence analysis technique. This technique gives results with uncertainty of 10%.

The X-ray diffraction analysis of  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$  NPs showed hexagonal wurtzite crystal structure. UV-Vis absorption spectra were recorded on Perkin-Elmer Lambda 5 instrument. A blue shift of the absorption onset of the  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$  nanoparticles compared to the bulk  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$  was about 0.3eV. The radius of the particles was calculated using an effective mass approximation model [11]. The calculated value for the particle size of  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$  nanoparticles was found to be 2.2nm. The results of experimental and theoretical studies of the Raman active vibrations in nanosized CdS crystals we reported in Ref. [12].

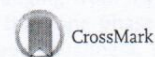
## 3. Results and discussion

The unpolarized Raman spectra were excited by 488, 496.5, 501.7 and 514.5nm lines of an argon laser in the





## Structural and optical properties of CuSe<sub>2</sub> nanocrystals formed in thin solid Cu–Se film



M. Gilić<sup>a,\*</sup>, M. Petrović<sup>a</sup>, R. Kostić<sup>a</sup>, D. Stojanović<sup>a</sup>, T. Barudžija<sup>b</sup>, M. Mitrić<sup>b</sup>, N. Romčević<sup>a</sup>, U. Ralević<sup>a</sup>, J. Trajić<sup>a</sup>, M. Romčević<sup>a</sup>, I.S. Yahia<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Institute of Physics, University of Belgrade, Pregrevica 118, 11080 Belgrade, Serbia

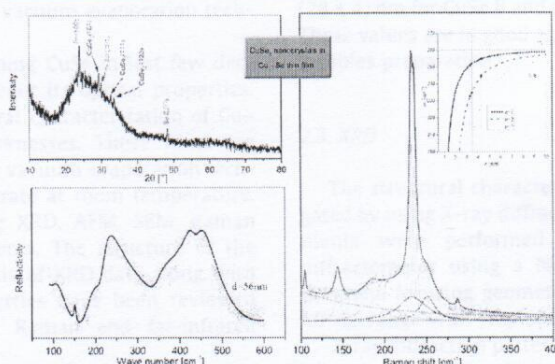
<sup>b</sup>Vinca Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

<sup>c</sup>Nano-Science & Semiconductor Labs., Physics Department, Faculty of Education, Ain Shams University, Roxy, Cairo, Egypt

### HIGHLIGHTS

- Two-phase-system, low-pressure modification of CuSe<sub>2</sub> and solid solution Cu in Se.
- Raman and far-infrared spectra show 10 modes that belong to hexagonal Se and CuSe<sub>2</sub>.
- Continuum medium model of optical phonon confinement in CuSe<sub>2</sub> nanocrystal.
- Maxwell-Garnett mixing rule was applied.

### GRAPHICAL ABSTRACT



### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 28 January 2016

Revised 11 March 2016

Accepted 14 March 2016

Available online 14 March 2016

#### Keywords:

Thin films

Optical properties

Spectroscopy

Maxwell-Garnett mixing model

### ABSTRACT

This paper describes the structural and optical properties of Cu–Se thin films. The surface morphology of thin films was investigated by atomic force microscopy (AFM) and scanning electron microscopy (SEM). Formation of Cu–Se thin films is concluded to proceed unevenly, in the form of islands which later grew into agglomerates. The structural characterization of Cu–Se thin film was investigated using X-ray diffraction pattern (XRD). The presence of two-phase system is observed. One is the solid solution of Cu in Se and the other is low-pressure modification of CuSe<sub>2</sub>. The Raman spectroscopy was used to identify and quantify the individual phases present in the Cu–Se films. Red shift and asymmetry of Raman mode characteristic for CuSe<sub>2</sub> enable us to estimate nanocrystal dimension. In the analysis of the far-infrared reflection spectra, numerical model for calculating the reflectivity coefficient of layered system, which includes film with nanocrystalite inclusions (modeled by Maxwell-Garnett approximation) and substrate, has been applied.

© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

Copper selenide is a metal chalcogenide semiconductor which exists in many phases and crystallographic forms:

\* Corresponding author.

E-mail address: [martina@ipb.ac.rs](mailto:martina@ipb.ac.rs) (M. Gilić).

different stoichiometric such as CuSe (mineral klockmannite), Cu<sub>2</sub>Se, CuSe<sub>2</sub> (mineral marcasite), Cu<sub>3</sub>Se<sub>2</sub> (mineral umangite), Cu<sub>5</sub>Se<sub>4</sub> (mineral atabaskite), Cu<sub>7</sub>Se<sub>4</sub> as well as in non-stoichiometric form as Cu<sub>2-x</sub>Se (mineral berzelianite) and can be constructed into several crystallographic forms (monoclinic, cubic, tetragonal, orthorhombic, hexagonal, etc.). The phase diagram of copper–selenium system [1] shows us that the

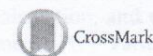
<http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2016.03.008>

1350-4495/© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.





## Optical properties of layered III–VI semiconductor $\gamma$ -InSe: $M$ ( $M$ =Mn, Fe, Co, Ni)



Aleksandra Milutinović<sup>a</sup>, Zorica Ž. Lazarević<sup>a,\*</sup>, Milka Jakovljević<sup>a</sup>, Branka Hadžić<sup>a</sup>, Milica Petrović<sup>a</sup>, Martina Gilić<sup>a</sup>, Witold Daniel Dobrowolski<sup>b</sup>, Nebojša Ž. Romčević<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institute of Physics, University of Belgrade, P.O. Box 68, Pregrevica 118, Zemun, Belgrade, Serbia

<sup>b</sup> Institute of Physics, Polish Academy of Science, 02-668 Warsaw, Poland

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 26 August 2015

Received in revised form

30 October 2015

Accepted 31 October 2015

Available online 5 November 2015

#### Keywords:

Layered compounds

Crystal growth

X-ray diffraction

Raman spectroscopy

Electronic structure

### ABSTRACT

Indium selenide belongs to layered III–VI semiconductors with highly anisotropic optical and electronic properties. Energy gap of 1.32 eV makes this material very attractive for solar energy conversion. We investigated the influence of 1% 3-d transition metals  $M$ =Mn, Fe, Co, Ni, used as dopants, on energy levels of InSe: $M$  in the range 1.4–6.5 eV and especially in the range of energy gap  $< 1.4$  eV by means of ellipsometric measurements. It was concluded that at ambient temperature foregoing dopants, all divalent, with  $4s^2$  valent electrons, in the similar way influenced on blue-shift of energy levels in valent zone, but did not influence on the fundamental energy gap. Photoluminescence measurements confirmed blue-shift of the valent zone energy levels and an existence of deep impurity levels.

© 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.

### 1. Introduction

Layered semiconductors are of great interest because they have highly anisotropic optical and electronic properties and relatively inert basal planes. Because of these properties, layered semiconductors are often used as photochemical electrodes. Indium selenide, with its direct energy gap in near infrared energy range [1,2], is an attractive material for solar energy conversion. Absence of dangling bonds on the (0 0 1) plane is an additional advantage for application as heterojunction device with a low density of interface states.

The layers of InSe crystals consist of covalently bonded Se–In–In–Se sheets with three Se atoms coordinated to one In atom. Covalent In–In bonds are oriented perpendicular to the layers. The bonding between the layers is weak, predominantly of Van der Waals type and, as in the other layered III–VI semiconductors, there exist several crystals polytypes.

There are three most common polytypes which differ by the stacking sequences of the layers. They are described as  $\beta$ - (space group  $P6_3mmc$ ),  $\epsilon$ - ( $P-6m2$ ) and  $\gamma$ -polytypes ( $R3m$ ). The  $\beta$ - and  $\epsilon$ -polytypes belong to the hexagonal system and each unit cell contains eight atoms extended over two layers. The  $\gamma$ -polytype has rhombohedral symmetry and its unit cell contains four atoms.

When the unit cell is transformed to the hexagonal system for the comparison with other polytypes, the non-primitive unit cell contains twelve atoms extended over three layers. There is also multiplied hexagonal modification  $\delta$ - ( $P6_3mc$ ), as well as multiplied rhombohedral 9R and 12R modifications [3–5].

The Bridgman-grown InSe crystals are usually of  $\gamma$ -polytype with rhombohedral (trigonal) symmetry. At low temperatures photoluminescence (PL) spectra of pure InSe has two visible bands usually: one, at higher energy, very exaggerate band corresponds to a direct transition and the second, weaker band presents an indirect transition. In some InSe crystals an indirect transition can be dominant [6,7]. The presence of large concentrations of native donors and acceptors, results in the existence of corresponding levels in the InSe energy gap. Complicated structure of PL spectra, especially at temperatures higher of 100 K, is due to the presence of energy levels of various natures in the InSe energy gap. PL spectra of different samples show various PL spectra structure. The quality of the samples affects the structure of PL spectra. In Ref. [8] is investigated the temperature dependence of various PL bands that appear in the range of 100 to 295 K. At  $T=295$  K the direct and indirect energy gaps are  $E_g^d=1.324$  eV and  $E_g^i=1.270$  eV, respectively. The binding energies of the free direct and indirect excitons are  $E_X^d=16.9$  meV and  $E_X^i=13.0$  meV.) The energy depths of the donor level below the conduction band bottom and acceptor level above the valence band top are  $E_D=26$  meV and  $E_A=60$  meV, respectively.

Doping impurities in InSe mainly segregate in interlayer

\* Corresponding author. fax: +381 11 3160 531.

E-mail address: [izorica@yahoo.com](mailto:izorica@yahoo.com) (Z.Ž. Lazarević).



UDK 677.017.5; 543.42

## Raman Spectroscopy of Optical Properties In Cds Thin Films

J. Trajčić<sup>1\*</sup>, M. Gilić<sup>1</sup>, N. Romčević<sup>1</sup>, M. Romčević<sup>1</sup>, G. Stanišić<sup>1</sup>,  
B. Hadžić<sup>1</sup>, M. Petrović<sup>1</sup>, Y.S. Yahia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physics, P.O. Box 68, University of Belgrade, 11080 Belgrade, Serbia

<sup>2</sup>Nano-Science& Semiconductor Labs., Department of Physics, Faculty of Education,  
Ain Shams University, Roxy, Cairo, Egypt

### Abstract:

Properties of CdS thin films were investigated applying atomic force microscopy (AFM) and Raman spectroscopy. CdS thin films were prepared by using thermal evaporation technique under base pressure  $2 \times 10^{-5}$  torr. The quality of these films was investigated by AFM spectroscopy. We apply Raman scattering to investigate optical properties of CdS thin films, and reveal existence of surface optical phonon (SOP) mode at  $297 \text{ cm}^{-1}$ . Effective permittivity of mixture were modeled by Maxwell – Garnet approximation.

**Keywords:** Thin films, Crystal growth, Phonons, Atomic force microscopy, Raman spectroscopy

### 1. Introduction

Thin film polycrystalline semiconductors have attracted great interest in an expanding variety of applications in various electronic and optoelectronic devices. Thin films now occupy a prominent place in basic research and solid state technology. The technological interest in polycrystalline based devices is mainly caused by their very low production costs.

Among the II – VI semiconductors, CdS polycrystalline thin film is a representative material. Cadmium sulphide (CdS) is a very useful optoelectronic [1, 2], piezo – electronic [3] and semiconducting material. It has a wide direct band gap (2.42 eV) so has been used as a window material together with several semiconductors such as CdTe, Cu<sub>2</sub>S and CuInSe<sub>2</sub> [4].

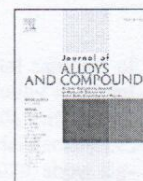
The deposition of CdS films has been explored by different techniques: sputtering, thermal evaporation, chemical bath deposition, and molecular beam epitaxy [5 – 9] in each of these methods polycrystalline, uniform and hard films are obtained, and their electrical properties are very sensitive to the method of preparation.

In the case of crystal with relatively small dimension, in the frequency range between bulk longitudinal optical phonon frequency ( $\omega_{LO}$ ) and transversal optical phonon frequency ( $\omega_{TO}$ ), a new mode known as a surface phonon mode appears.

It is well established that for the case of real crystal, when their dimension is relatively small, surface modes and effects of dimension will be also manifested in addition to the normal mode of infinite lattice. When dimension become extremely small, only the surface mode persist [10].

\* Corresponding author: jelena@ipb.ac.rs





## Far-infrared spectroscopy of $Zn_{1-x}Mn_xGeAs_2$ single crystals: Plasma damping influence on plasmon – Phonon interaction



N. Romcevic<sup>a,\*</sup>, M. Romcevic<sup>a</sup>, W.D. Dobrowolski<sup>b</sup>, L. Kilanski<sup>b</sup>, M. Petrovic<sup>a</sup>, J. Trajic<sup>a</sup>, B. Hadzic<sup>a</sup>, Z. Lazarevic<sup>a</sup>, M. Gilic<sup>a</sup>, J.L. Ristic-Djurovic<sup>a</sup>, N. Paunovic<sup>a</sup>, A. Reszka<sup>b</sup>, B.J. Kowalski<sup>b</sup>, I.V. Fedorchenko<sup>c,d</sup>, S.F. Marenkin<sup>c,d</sup>

<sup>a</sup> Institute of Physics, University of Belgrade, Pregrevica 118, 11080 Belgrade, Serbia

<sup>b</sup> Institute of Physics, Polish Academy of Science, 02-668 Warsaw, Poland

<sup>c</sup> Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry RAS, 119991 Moscow, Russia

<sup>d</sup> National Institute of Science and Technology, MISiS, Moscow, Russia

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 12 June 2015

Received in revised form

8 July 2015

Accepted 10 July 2015

Available online 13 July 2015

#### Keywords:

Semiconductors

Electron–phonon interactions

Light absorption and reflection

### ABSTRACT

The interest in thorough description of  $Zn_{1-x}Mn_xGeAs_2$  arises from its suitability for application in the field of non-linear optics. The room temperature far-infrared reflectivity spectra of single crystals  $Zn_{1-x}Mn_xGeAs_2$ , where  $0 \leq x \leq 0.078$ , were measured in the spectral range from  $80 \text{ cm}^{-1}$  to  $500 \text{ cm}^{-1}$ . The spectra were analyzed by fitting procedure using a dielectric function which includes interaction between a plasmon and two different phonons. The detected phonons are in excellent agreement with the theoretical predictions. The MnAs cluster phonons are detected, as well.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

Ternary semiconductors of the form II-IV-V<sub>2</sub> are crystal-chemicals that are electrical twins of semiconductors of the form III-V. Ordered replacement of the atom III in a semiconductor by the atoms II and IV in a ternary semiconductor causes doubling of the unit cell size in the direction of the *c*-axis and consequent reduction of symmetry from the cubic to the tetragonal. For example, a representative of this group of materials, ZnGeAs<sub>2</sub> with the twin semiconductor GaAs, crystallizes in the chalcopyrite structure.

A diluted magnetic semiconductor whose Curie temperature is as high as 300 K can be obtained by doping ZnGeAs<sub>2</sub> with Mn [1,2]. The non-linear optical coefficients of the resulting alloy, i.e., of  $Zn_{1-x}Mn_xGeAs_2$ , are large [3], and its direct energy gap corresponding to  $T = 300 \text{ K}$  at the  $\Gamma$  point of the Brillouin zone is  $E_g = 1.15 \text{ eV}$  [4]. Due to these characteristics, the described material is suitable for application in the non-linear optics; hence the interest for its other attributes.

The plasmons of free carriers and the longitudinal-optical (LO) phonons interact through their macroscopic electric fields, and the

result is appearance of the coupled LO phonon-plasmon modes (CPPMs). The vast majority of published studies are devoted to the *n*-type semiconductors and the interaction of a single phonon with effective plasmons. The studies involving the influence of the plasmon damping on the CPPM followed somewhat later [5]. For example, for low damping rates in the *n*-type GaAs, the coupled modes can be classified in an upper  $L_+$  branch and a lower  $L_-$  branch. With the increase in the carrier density, i.e., plasma frequency, the nature of the upper mode changes in energy from the LO phonon-like to a plasmon-like. The change in the lower frequency mode occurs the other way around, reaching the transverse-optical (TO) phonon energy for large plasmon energy. The distinction between the upper and lower mode becomes meaningless for large plasmon damping. In this case, one mode is more phonon-like with energy  $\omega_{LO}$  for  $\omega_P = 0$  and  $\omega_{TO}$  for  $\omega_P \gg \omega_{LO}$ , with nearly pure phonon damping in both cases, whereas the other mode is an overdamped plasmon mode. Further, it is the plasma with high mobilities and low effective masses of the carriers that is often considered, in which case is enabled the detection of low,  $L_-$ , and high,  $L_+$ , energy branch of the CPPM [6,7].

Despite the early theoretical prediction of the interaction between two phonons and a plasmon [8], experimental confirmations are rare [9–11]. As for the influence of the plasmon damping on the

\* Corresponding author.

E-mail address: romcevi@tpb.ac.rs (N. Romcevic).





## Structural properties and luminescence kinetics of white nanophosphor YAG:Dy



M.S. Rabasovic<sup>a,\*</sup>, D. Sevic<sup>a</sup>, J. Krizan<sup>b</sup>, M.D. Rabasovic<sup>a</sup>, S. Savic-Sevic<sup>a</sup>, M. Mitric<sup>c</sup>, M. Petrovic<sup>a</sup>, M. Gilic<sup>a</sup>, N. Romcevic<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institute of Physics, University of Belgrade, P.O. Box 68, Pregrevica 118, 11080 Belgrade, Serbia

<sup>b</sup>AMI, d. o. o., Ptuj, Slovenia

<sup>c</sup>Vinca Institute of Nuclear Science, University of Belgrade, P.O. Box 522, 11001 Belgrade, Serbia

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 23 October 2015

Received in revised form 3 November 2015

Accepted 3 November 2015

Available online 6 November 2015

#### Keywords:

Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>

Dy<sup>3+</sup>

Nanopowders

Phosphor

Lifetime

### ABSTRACT

Dysprosium (Dy<sup>3+</sup> ions) doped YAG nanopowders were prepared by the solution combustion synthesis (SCS) method and undoped yttrium aluminum garnet (YAG, Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>) single crystal was grown by the Czochralski technique. The structure of the prepared materials has been confirmed and characterized using X-ray powder diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), Raman and photoluminescence (PL) spectroscopy. PL spectra were acquired using Optical Parametric Oscillator (OPO) excitation tuned at 350 nm. Several emission bands in Dy<sup>3+</sup> emission spectrum were observed in the blue (470–500 nm), yellow (560–600 nm), red (660–685 nm) and infra-red (750–780 nm) regions, corresponding to <sup>4</sup>F<sub>9/2</sub>–<sup>6</sup>H<sub>15/2</sub>, <sup>4</sup>F<sub>9/2</sub>–<sup>6</sup>H<sub>13/2</sub>, <sup>4</sup>F<sub>9/2</sub>–<sup>6</sup>H<sub>11/2</sub>, <sup>4</sup>F<sub>9/2</sub>–(<sup>6</sup>H<sub>9/2</sub> + <sup>6</sup>H<sub>11/2</sub>) transitions in the 4f levels of Dy<sup>3+</sup> ions, respectively. By using the Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) chromaticity diagram of emission spectra it has been shown that this material can be used as a source of a white light. The result of lifetime analysis of the <sup>4</sup>F<sub>9/2</sub> level in dysprosium ion has been reported, as well.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

Yttrium Aluminum Garnet (YAG) is a well-known crystalline material with many interesting optical and mechanical properties. It has a cubic garnet crystallographic structure with isotropic thermal expansion and homogeneous optical properties without birefringence effects [1,2]. Due to the structural properties of YAG, it is widely used as a host in solid state lasers, luminescence materials and scintillators [3,4].

Rare earth ions luminescence has been extensively used in applications as the active ions in phosphors for development of flat panel displays, plasma display panels (PDPs), thin film electroluminescent devices (TFEL), white light emitting diode (LED). Trivalent rare-earth ions have a partially filled 4f shell that is well shielded by 5s<sup>2</sup> and 5p<sup>6</sup> orbitals. The 4f–4f inner-shell transitions in trivalent rare-earth ions allow the expression of features such as high luminescence yield, narrow emission line, and long decay time constant. Because of this, most rare-earth elements are doped into many light emitting materials and laser materials [5,6].

Due to its high optical transparency (it remains transparent through the whole visible region), YAG is ideal for studying of rare

earth ions in both diluted and concentrated form. As the size of lanthanide ions decreases with the increase of atomic number,  $r(La) \gg r(Lu)$ , single rare earth garnets exist only for rare-earth ions with at least seven 4f electrons. Others, with less than seven 4f electrons, can replace just a certain percentage of Y<sup>3+</sup> ions. The electronic structure of dysprosium is 1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>6</sup>4s<sup>2</sup>3d<sup>10</sup>4p<sup>6</sup>5s<sup>2</sup>4d<sup>10</sup>5p<sup>6</sup>6s<sup>2</sup>4f<sup>10</sup> – 10 of 14 possible electrons in the last 4f shell. So, the structure Dy<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>(AlO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> is indeed possible. If we look at the size of Y<sup>3+</sup> and Dy<sup>3+</sup>, the difference is only 0.69%, the radius of Dy<sup>3+</sup> ion is 1.167 Å and radius of Y<sup>3+</sup> ion (1.159 Å) as is depicted in Fig. 1(a).

Structural and optical properties of YAG and Nd:YAG single crystals have been analyzed previously using XRD, Raman and IR spectroscopy [7]. Nd:YAG single crystal is a well-known lasing material for more than 30 years. Now, we have extended our research to YAG:Dy phosphors. When the Dy<sup>3+</sup> ions are incorporated in the host crystal field with wide band gap, the visible emission of these ions manifests mainly in the blue and yellow spectral regions. The energy level scheme of Dy<sup>3+</sup> ions in YAG phosphor is presented in Fig. 1(b). The investigations regarding the ratio of blue and yellow transition of the Dy<sup>3+</sup> ions indicate that the lightly doped samples should be considered for the production of the white light emission [8,9].

The aim of this paper is to present the results of experimental investigation of Dy<sup>3+</sup> doped YAG nanopowders, annealed at

\* Corresponding author.

E-mail address: [majap@ipb.ac.rs](mailto:majap@ipb.ac.rs) (M.S. Rabasovic).



# Raman study of surface optical phonons in ZnO(Co) nanoparticles prepared by calcinations method

B. HADŽIĆ<sup>a</sup>, N. ROMČEVIĆ<sup>a</sup>, M. ROMČEVIĆ<sup>a</sup>, I. KURLISZYN-KUDELSKA<sup>b</sup>, W. DOBROWOLSKI<sup>b</sup>, M. GILIĆ<sup>a</sup>, M. PETROVIĆ DAMJANOVIĆ<sup>a</sup>, J. TRAJIĆ<sup>a</sup>, U. NARKIEWICZ<sup>c</sup>, D. SIBERA<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Institute of Physics, University of Belgrade, Pregrevica 118, 11 080 Belgrade, Serbia

<sup>b</sup>Institute of Physics, Polish Academy of Science, al. Lotnikow 32/46, 02-668 Warszawa, Poland.

<sup>c</sup>Szczecin University of Tehnology, Institute of Chemical and Environment Engineering, Pulaskiego 10, 70-322 Szczecin, Poland

In Raman scattering spectra of nanocrystalline samples ZnO(Co), surface optical phonons (SOP) were observed in the range of 496 – 546  $\text{cm}^{-1}$ . With X - ray diffraction measurements were determined the phase composition of the samples (ZnO,  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ) and the mean crystalline size (14-156 nm) where 53% of samples have mean crystalline size between 14 and 30 nm, 24% between 40 and 60nm, 17% larger than 100 nm and 6% have 80 nm. From this measurement becomes obvious the change of position of SOP modes with crystalline size and change of intensity of SOP modes with change of CoO concentration of doping element.

(Received October 10, 2013; accepted May 15, 2014)

*Keywords:* Nanostructured materials, Optical properties, Light absorption and reflection

## 1. Introduction

The synthesis and the properties of nanoscale inorganic materials has been attracted great interest, especially nanostructures made of ZnO and ZnO-related compounds due to their large expected spectra of applications. Some of them are in the quality of transparent conducting electrodes for solar cells and flat panel displays, in spintronic devices, transparent ultraviolet protection films and low-voltage and short-wavelength electro-optical devices [1,2].

It has been observed that ZnO is most promising host semiconductor material for high temperature ferromagnetism, because it exhibits ferromagnetism when it is doped with majority of the transition metals such as Co, Ni, Cr, Fe, V [3].

Raman scattering has been a method of choice for many studies of vibrational properties of ZnO, for bulk materials, thin films and nanostructure samples, both pure and doped due to its characteristics of an ideal sensitive, non-destructive tool. It permits obtaining information about the sample quality, presence of impurities and their position in host lattice as well as information about phonon lifetimes and isotopic effects [4, 5]. In ZnO and ZnO-related compounds with Raman scattering has been studied local atomic arrangement, dopant incorporation, electron-phonon coupling, multi phonon process, influence of annealing process, temperature dependence of Raman modes and others [6-11].

For nanostructures of ZnO the appearance of surface optical phonon (SOP) modes in Raman spectra is expected because of their large surface-to-volume ratio. This is the reason why the state of surface atoms have important role

in determining their properties. Surface modes are only modes that persist when dimensions becomes extremely small. With this we can say that SOP modes are Raman forbidden modes whose presence is related to loss of long-range order and symmetry breakdown in ZnO shell [12,13]. All this can be found in many papers predicted theoretically and/or detected experimentally for ZnO nanostructures [12].

The aim of this work is to study samples characteristics, by applying micro-Raman spectroscopy to study the Co ion position in ZnO lattice, the formation of existing phases, presence of SOP modes and quality of the samples in dependence of CoO concentration.

## 2. Samples and characterization

The nanocrystalline samples of ZnO doped with CoO were obtained using of the coprecipitation-calcination method. In this method a mixture of cobalt and zinc hydroxides was obtained by addition of an ammonia solution or 2M solution of KOH to the 20% solution of a proper amount of  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  in water. Next, the obtained hydroxides were filtered, dried at 70 °C and calcined at 300 °C during one hour. Nanopowders obtained on this way were pressed into indium panel.

This method allowed obtaining the series of nanosized ZnO samples with nominal concentration of CoO from 5% to 95%. In this paper we present the results of micro-Raman spectroscopy for all obtained samples as well as the changes of intensity of modes with concentration of CoO.



## DETERMINATION OF MICROSTRUCTURAL CHANGES BY SEVERELY PLASTICALLY DEFORMED COPPER-ALUMINUM ALLOY: OPTICAL STUDY

N. Romčević<sup>1\*</sup>, M. Gilić<sup>1</sup>, I. Anžel<sup>2</sup>, R. Rudolf<sup>2,3</sup>, M. Mitrić<sup>4</sup>, M. Romčević<sup>1</sup>, B. Hadžić<sup>1</sup>,  
D. Joksimović<sup>5</sup>, M. Petrović Damjanović<sup>1</sup>, M. Kos<sup>2,6</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade, Institute of Physics, Belgrade, Serbia; <sup>2</sup> University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Slovenia; <sup>3</sup> Zlatarna Celje d.d., Slovenia; <sup>4</sup> Institute Vinca, University of Belgrade, Belgrade, Serbia; <sup>5</sup> Megatrend University, Belgrade, Serbia; <sup>6</sup> Sykofin d.o.o., Maribor, Slovenia

(Received 21 January 2014; accepted 17 March 2014)

### Abstract

Our work deals with the problem of producing a complex metal-ceramic composite using the processes of internal oxidation (IO) and severe plastic deformation. For this purpose, Cu-Al alloy with 0.4wt.% of Al was used. IO of sample serves in the first step of the processing as a means for attaining a fine dispersion of nanosized oxide particles in the metal matrix. Production technology continues with repeated application of severe plastic deformation (SPD) of the resulting metal-matrix composite to produce the bulk nanoscaled structural material. SPD was carried out with equal channel angular pressing (ECAP), which allowed that the material could be subjected to an intense plastic strain through simple shear. Microstructural characteristics of one phase and multiphase material was studied on internally oxidized Cu with 0.4wt.% of Al sample composed of one phase copper-aluminum solid solution in the core and fine dispersed oxide particles in the same matrix in the mantle region. In this manner AFM, X-ray diffraction and Raman spectroscopy were used. Local structures in plastically deformed samples reflect presence of Cu, CuO, Cu<sub>2</sub>O, Cu<sub>4</sub>O<sub>3</sub> or Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> structural characteristics, depending on type of sample.

**Key words:** metals; oxides; atomic force microscopy; Raman spectroscopy; microstructure.

### 1. Introduction

An attractive and viable approach for improving the strength of copper is to introduce fine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles into the Cu matrix, resulting in an oxide dispersion strengthening of the alloys (ODS alloy). A copper matrix containing fine nano-sized particles is attractive for its excellent combinations of thermal and electrical conductivity and overall microstructural stability. Internal oxidation (IO) can be used in order to achieve the fine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles in the Cu matrix.

Internal oxidation (IO) is a diffusion-controlled process involving selective reactions of a less noble solute or second phase particles with oxygen (also nitrogen or carbon) diffusing in from the surface. The phenomenon is well understood for single phase solid solutions and can be interpreted according to the known theoretical models. From a technological standpoint the process can be used for oxide dispersion strengthening of alloys (ODS alloy) which retain improved mechanical properties at high temperatures [1]. Tensile strength of ODS alloys can be improved additionally by severe plastic

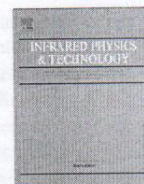
deformation, which can be achieved with equal channel angular pressing (ECAP), Figure 1 [2]. The ECAP process is a novel technique for producing ultra-fine grain structures on the submicron level by introducing a large amount of shear strain into the materials without changing the billet shape or dimensions [3]. Previous research on grain refinement and microstructural characteristics during the ECAP process are based mainly on one phase materials such as Cu and Al [4-6].

The influence of oxides or precipitates on the microstructural characteristic during the ECAP process has been investigated rarely. In fact the combination of IO and the ECAP process has not yet been studied and no information is available.

This paper describes the influence of the ECAP process on the microstructural characteristic of one phase and multiphase materials. The microstructural features in one phase and multiphase material were studied on partially internally oxidized Cu-0.4wt.%Al sample, composed of one phase copper-aluminum solid solution in the core and fine dispersed oxide particles in the same matrix in the mantle region.

\* Corresponding author: romcevi@ipb.ac.rs





## Far-infrared spectroscopy of CdTe<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>(In): Phonon properties



M. Petrović<sup>a</sup>, N. Romčević<sup>a,\*</sup>, J. Trajić<sup>a</sup>, W.D. Dobrowolski<sup>b</sup>, M. Romčević<sup>a</sup>, B. Hadžić<sup>a</sup>, M. Gilić<sup>a</sup>,  
A. Mycielski<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Institute of Physics, University of Belgrade, Pregrevica 118, 11080 Belgrade, Serbia

<sup>b</sup>Institute of Physics, Polish Academy of Science, 02-668 Warsaw, Poland

### HIGHLIGHTS

- Optical properties were investigated applying far-infrared spectroscopy.
- Dielectric function which includes spatial distribution of free carriers were used.
- The long wavelength optical phonons exhibit a two-mode behavior.
- The local In mode at about 160 cm<sup>-1</sup> is observed.
- Surface layers with a low concentration of free carriers are formed.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 10 June 2014

Available online 23 August 2014

#### Keywords:

Semiconductors

Electron-phonon interactions

Light absorption and reflection

### ABSTRACT

The far-infrared reflectivity spectra of CdTe<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub> and CdTe<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub>(In) single crystals were measured at different temperatures. The analysis of the far-infrared spectra was carried out by a fitting procedure based on the dielectric function which includes spatial distribution of free carriers as well as their influence on the plasmon-phonon interaction. We found that the long wavelength optical phonon modes of CdTe<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> mixed crystals exhibit a two-mode behavior. The local In mode at about 160 cm<sup>-1</sup> is observed. In both sample, a surface layer with a low concentration of free carriers (depleted region) are formed.

© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

The II–VI semiconductors have been extensively studied due to their effective use in optoelectronic industry. These compounds are commonly used in many established commercial electronic and optoelectronic devices operating in blue to ultraviolet spectral regions such as visual displays, high-density optical memories, transparent conductors, solid-state laser devices, photo detectors, solar cells, etc. These compounds crystallize in zinc-blende and wurtzite structure. These structures are the combination of the tetrahedral sp<sup>3</sup> bonded lattice sites with the outermost cations d-states influencing the bonding. These states lie in or close to the energy range of the usual valence states which affect the band structure and optical properties [1]. Energy gaps for II–VI semiconductors are between 0 and 3.8 eV. Intermediate values of energy gaps, lattice parameters, and other properties can be obtained by forming ternary and quaternary compounds. Ternary compounds have been studied extensively by vibration spectroscopy, with an emphasis on nanometer-size-related effects [2–5]. The knowledge

of the optical properties of these materials is essential for the design and analysis II–VI based optoelectronic devices. For this reason, the optical properties of these compounds have widely been studied experimentally and theoretically, and extensive information on the subject is available in literature.

The subject of this paper is CdTe<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> mixed crystal doped with In. In this work, we show the reflectivity spectra of the CdTe<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub> and CdTe<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub>(In) at different temperatures. These spectra were analyzed using the dielectric function which includes plasmon-phonon interaction [6]. The TO, LO and local mode frequencies were determined using the best fit. The model of phonon mode behavior for these mixed crystals based on Genzel's model [7] was used.

### 2. Experimental

Single crystals of CdTe<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub> and CdTe<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub> + 1.2 at.% of In were grown by the Bridgman method at the Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Warsaw, where high purity elements were used as source materials.

Far-infrared reflection spectra were measured in the temperature range from 80 to 300 K and the spectral range from 80 to 650 cm<sup>-1</sup>, carried out with a BOMEM DA 8 spectrometer.

\* Corresponding author. Tel.: +381 11 3713 026; fax: +381 11 3713 052.

E-mail address: [romcevi@ipb.ac.rs](mailto:romcevi@ipb.ac.rs) (N. Romčević).



# Raman spectroscopy of bismuth silicon oxide single crystals grown by the Czochralski technique

Z Lazarević<sup>1</sup>, S Kostić<sup>1</sup>, V Radojević<sup>2</sup>, M Romčević<sup>1</sup>, M Gilić<sup>1</sup>,  
M Petrović-Damjanović<sup>1</sup> and N Romčević<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Physics, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

<sup>2</sup> Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

E-mail: lzorica@yahoo.com

Received 24 August 2012

Accepted for publication 16 December 2012

Published 15 November 2013

Online at stacks.iop.org/PhysScr/T157/014046

## Abstract

In this work, single crystals of bismuth silicon oxide (BSO;  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ) have been grown by the Czochralski method. The growth conditions were studied. The critical diameter and the critical rate of rotation were calculated. Suitable polishing and etching solutions were determined. The structure of the  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  has been investigated by x-ray diffraction (XRD), and Raman and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) spectroscopy. The results obtained are discussed and compared with the published data. The pale yellow  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  single crystals prepared were without cores. Using spectroscopic measurements 19 Raman and 5 IR modes were observed.

PACS numbers: 81.10.-h, 78.30.-j, 61.72.Ff

(Some figures may appear in color only in the online journal)

## 1. Introduction

Cubic crystals with the sillenite-type structure are described by the general formula  $\text{Bi}_{12}\text{M}^{\text{n}}\text{O}_{20\pm\delta}$ , where  $M$  is an element of groups II–V of the periodic table ( $M = \text{Si}, \text{Ge}, \text{Ti}, \text{etc}$ ). Bismuth silicon oxide (BSO;  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ) belongs to the group of sillenite single crystals (with the space group  $I23$ ) [1]. These exhibit many interesting properties such as photoconductivity, the electro-optic effect, piezoelectricity and photorefractivity [1–3]. Such properties make these materials attractive for technological application in the fields of optical memories, holography and optical phase-conjugating devices [1–5]. Many of the important properties of selenite exploited for different applications are either determined or affected by impurities.



$\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  single crystals were grown by a laser-heated pedestal growth (LHPG) method [6], the hydrothermal growth technique [7] and the sol-gel process [8]. Also, mechanical alloying has been used successfully to produce nanocrystalline powders of BSO [9]. Films of these compounds can be produced by liquid phase epitaxy (LPE), physical sputtering, chemical vapor transport and

solution growth [5].  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  crystals have been produced mainly by the Bridgman method [10], by the floating-zone technique [11], and recently also by the Czochralski technique [12–16]. A question of major importance in the melt growth of sillenite compounds is the optical homogeneity of single crystals [9]. The two most typical ‘optical’ defects in sillenite-type crystals are second-phase inclusions and regions differing in optical absorption. Increased-absorption regions in bismuth silicate crystals may appear as striations and a so-called central core, which is seen as a dark area in the central part of cross-sections. It is commonly believed [13, 17] that the central core and selective decoration in the shape of a Maltese cross for the  $\langle 100 \rangle$  and  $\langle 110 \rangle$  growth directions or in the shape of a three-bladed propeller for the  $\langle 111 \rangle$  growth direction are associated with growth rate anisotropy and the difference in the distribution coefficient of ‘photochromic’ impurities between the polar and nonpolar facets of the growth interface. If the interface has the form of a flat  $\langle 100 \rangle$  facet (usually in faceted growth at fast crystal rotation rates), there is no central core [18, 19]. This is the main reason why it is very much necessary to find optimal conditions for growth, so that this does not happen [5, 20]. Most  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  single



## Research Article

# Effect of Laser Heating on Partial Decomposition of $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) Single Crystal: Raman Study

Nebojsa Romcevic <sup>1</sup>, Branka Hadzic,<sup>1</sup> Marija Prekajski Đorđević,<sup>2</sup> Peda Mihailovic,<sup>3</sup>  
Milica Curcic,<sup>1</sup> Jelena Trajic,<sup>1</sup> Jelena Mitric,<sup>1</sup> and Maja Romcevic <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physics Belgrade, University of Belgrade, Belgrade 11080, Serbia

<sup>2</sup>Vinca Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, Belgrade 11000, Serbia

<sup>3</sup>School of Electrical Engineering, University of Belgrade, Belgrade 11000, Serbia

Correspondence should be addressed to Nebojsa Romcevic; romcevi@ipb.ac.rs

Received 2 March 2023; Revised 17 April 2023; Accepted 28 April 2023; Published 4 May 2023

Academic Editor: Emiliano Bonera

Copyright © 2023 Nebojsa Romcevic et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The effect of laser (532 nm line of Verdi G) heating during the Raman measurements, on partial decomposition of  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  single crystal, was addressed in this study. The degree of decomposition directly depends on the power density and duration of the laser treatment, which are registered by the phonon Raman spectra. After laser treatment, AFM measurements register additional small spherical islands on the surface. Analysis performed on irradiated and unirradiated samples showed significant changes in transmission spectra, X-ray diffraction (XRD) pattern, Verdet constant, magneto-optical property, and absorption coefficient. The material obtained after laser irradiation can be described as specific nanocomposite consisting of bismuth oxide and silicon oxide-based nano-objects (dimensions below 15 nm in diameter), which are arranged in a matrix of  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ .

## 1. Introduction

Sillenite crystals belong to the  $\text{Bi}_{12}\text{MO}_{20}$  group (where  $M = \text{Si}, \text{Ge}, \text{and Ti}$ ) compounds, that have a body-centered cubic crystalline structure with the space group  $I23$  [1]. Crystal  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  has parameters  $a = 1.01067$  nm,  $Z = 2$  (two identical motives in the unit cell). The density functional theory calculations presented bandgap energy of  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  as 3.43 eV [2]. Experimentally determined values are lower [3]. These optically active crystals can exhibit many strong effects such as magneto-optical, photo-induced, and electro-optical effects. Also, they possess numerous interesting properties, such as high values of piezo-electric, dielectric and elasto-optic constants, as well as high dark electric resistance [1]. These crystals, usually as bulk crystals, have widespread applications as active elements in many devices, such as optical limiting, holography, spatial light modulation, optical phase conjugation, optical memories fiber optic sensors, and Pockels cells [4–6].

Lasers have great applications in material processing [7] and their role is only getting more expanded. The surface of a single crystal can be laser treated [8] whereby a thin surface layer of the material is transformed when it interacts with the laser beam. This process is strictly controlled with the laser beam wavelength and power, its duty cycle, and repetition rate. The final result of how material is modified depends on a sample, since all materials have unique properties that dictate how they will interact with the laser radiation [9, 10].

Raman spectroscopy is an established technique to measure local material properties [11]. As such, it is very suitable for research related to the surface of the sample. However, since it uses a laser for excitation, structural changes may occur on the surface of the sample caused by local heating. In some cases, these modifications can lead to the decomposition of the sample, which results in a changed Raman signal [12, 13]. Changes in the spectrum can be in the position and half-width of phonon lines on the spectrum of



# Vibrational and magnetic properties of nano-sized $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ obtained by various synthesis techniques: a comparative study

Z. LAZAREVIĆ<sup>1,\*</sup>, Lj. ANDJELKOVIĆ<sup>2</sup>, M. ŠULJAGIĆ<sup>2</sup>, A. MILUTINOVIĆ<sup>1</sup>, M. ĆURČIĆ<sup>1</sup>, J. TRAJIĆ<sup>1</sup>, N. PAUNOVIĆ<sup>1</sup>, M. ROMČEVIĆ<sup>1</sup>, B. HADŽIĆ<sup>1</sup>, N. ROMČEVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physics Belgrade, University of Belgrade, 11080, Belgrade, Serbia

<sup>2</sup>University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, Department of Chemistry, 11000 Belgrade, Serbia

Nanocrystalline  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  has been synthesized by various synthesis methods. The obtained monodomain nanoparticles are similar in sizes (15.8-19 nm), but with different internal stresses, size distributions and cation inversion coefficients (0.51 - 0.90) due to different synthesis routes. The structure and cation distribution are investigated by XRD diffraction analysis, Raman and FIR spectroscopy. Measurement of magnetization, i.e. coercivity, enable the calculation of the anisotropy coefficient  $K_1 = (3.6\text{-}5.12) \cdot 10^5 \text{ J cm}^{-3}$ , which is very high in cobalt ferrite. The anisotropy coefficient directly depends on the nanoparticle size. It has been shown that magnetization linearly depends on the cation inversion, except in the sample with the largest nanoparticles (19 nm), where the more regular crystal structure prevails and higher values of magnetization were obtained. The average magnetic moments at 300 K are:  $\mu_{\text{Fe}} = 3.6\mu_{\text{B}}$  and  $\mu_{\text{Co}} = 2.5\mu_{\text{B}}$ . It is obvious that with small adjustments in the synthesis, desirable nanoparticle properties can be obtained.

(Received December 6, 2022; accepted June 6, 2023)

*Keywords:*  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ , XRD, Raman, Far-infrared spectroscopy, Magnetic measurements

## 1. Introduction

Nowadays, the nanostructured materials are widely used for frontier research areas because of their good physicochemical characteristics which are not shown by many material of similar compositions in their bulk counterpart [1, 2]. Among the many nanomaterials, transition type metal oxide based materials are gaining more attention by researchers due to a wide range of broad spectrum of applications such as medical, energy storage, fabrication of advanced devices, etc.

A lot of synthetic strategies for preparing nanosized cobalt ferrite in diameter of 2-50 nm have been presented [3]. However, their application can be limited due to the surfactants that are covered on the surface of the ferrite particles and hard to be removed.

Spinel ferrites ( $\text{MFe}_2\text{O}_4$ ) have attracted considerable attention over the past years. The structural, optical, magnetic, and mechanical properties of these ferrites allow their successful application in various areas, such as electronic devices and the biomedical field [4]. Spinel ferrite nanoparticles are currently some of the most important and versatile advanced ceramics. Several works show that this easy processing material brings technological innovation in gas sensors, catalysts, microwave-absorbing materials, permanent magnets, high-density recording media and magnetic hyperthermia applications [5].

Cobalt ferrite ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ) is a spinel ferrite with a large coercive field compared to the other soft ferrites. It is considered as a semi-hard material due to its coercive field value located between the soft and the hard aspects. Cobalt ferrite still captures the interest of the scientific community by dint of its several characteristics such as large coercivity, moderate saturation magnetization, good chemical stability [6].

In this work, the effect of synthesis method (US-CO ultrasonically assisted coprecipitation, CO - coprecipitation, MC-CO coprecipitation followed by mechanochemical treatment, MW-HT microwave assisted hydrothermal method and ME microemulsion method) on the structural, vibration and magnetic properties of cobalt ferrite were investigated. The primary aim of this work is to eliminate the using of expensive dangerous chemicals in preparing ferrite magnetic materials and instead using cheap, simple and environmental friendly materials.

The second aim is to characterize the entire prepared nanosized partially inverted cobalt ferrites,  $(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)^{\text{A}}[\text{Fe}_{2-x}\text{Co}_x]^{\text{B}}$ , using different techniques viz. XRD, Raman, far-IR and magnetic measurements in order to obtain information about the impact of the preparation route on the formation conditions, crystal size, cation distribution as well as the morphology of the prepared samples. To the best of our knowledge, no such complete investigations for  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  prepared via the entire routes are reported in the literature. The obtained structural,



## RESEARCH ARTICLE

Vibrational properties of the mechanochemically synthesized  $\text{Cu}_2\text{SnS}_3$ : Raman studyJelena Trajic<sup>1</sup> | Milica Curcic<sup>1</sup> | Mariano Casas Luna<sup>2</sup> | Maja Romcevic<sup>1</sup> |  
Michaela Remesova<sup>2</sup> | Matej Balaz<sup>3</sup> | Ladislav Celko<sup>2</sup> | Karel Dvorak<sup>4</sup> |  
Nebojsa Romcevic<sup>1</sup><sup>1</sup>Institute of Physics, University of Belgrade, Belgrade, Serbia<sup>2</sup>Central European Institute of Technology, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic<sup>3</sup>Institute of Geotechnics, Slovak Academy of Sciences, Košice, Slovakia<sup>4</sup>Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic

## Correspondence

Jelena Trajic, Institute of Physics, University of Belgrade, Pregrevica 118, 11080 Belgrade, Serbia.  
Email: jelena@ipb.ac.rs

## Funding information

Slovak Research and Development Agency, Grant/Award Number: APVV-18-0357; Grant Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic, Grant/Award Number: 2/0112/22; COST Association (European Cooperation in Science and Technology, Grant/Award Number: CA18112; Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development

## Abstract

$\text{Cu}_2\text{SnS}_3$  (CTS) is a simple and promising material for solar cells. Various physical and chemical techniques have been employed for synthesis of CTS nanocrystals among which mechanochemical synthesis is a great alternative due to its simplicity, solvent-free character, and reproducibility. We present the analysis of the vibration properties of mechanochemically synthesized CTS nanocrystals. The milling time influence on CTS synthesis from elemental precursors Cu, Sn, and S was observed. The scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), and Raman spectroscopy was used to characterize the crystal structure and compositional purity of the obtained nanoparticles. In order to investigate the individual steps of the synthesis, samples obtained after 15 s and 5, 10, 15, and 30 min of milling time were analyzed. The detailed analysis of the Raman spectra has allowed us to determine the wavenumber of the main and weaker peaks, and discern the phase, crystal structure, and secondary phases. The formation of monoclinic and tetragonal CTS phases, with oxidized surface (due to milling in air) was confirmed.

## KEYWORDS

mechanochemical synthesis, micro-Raman spectroscopy, mohite, phonons, solar cells

## 1 | INTRODUCTION

Considering the depletion of current energy sources, a great effort has been made to discover new renewable sources of energy. Solar energy conversion is a promising source of clean, sustainable, and renewable energy. Hereupon, intensive efforts are made to develop new absorber materials with nontoxic, low-cost, and abundant elements.

$\text{Cu}_2\text{SnS}_3$  (CTS) is a simple and potential material suitable for solar cells. This material exists in nature as a mineral mohite.<sup>[1]</sup> The ternary CTS is composed of earth abundant, nontoxic, and inexpensive elements such as Cu, Sn, and S and has a good stability within the Cu–Sn–S family and lack of Fermi level pinning.<sup>[2,3]</sup> CTS compound exhibits a number of advantages for photovoltaic and optoelectronic applications, such as high optical absorption coefficient (higher than  $10^4 \text{ cm}^{-1}$ ), adequate direct band gap around 1 eV and theoretical conversion efficiency of up to 30%.<sup>[4–7]</sup>

Correction added on 24 June 2022, Author name was corrected from Karel Dvorek to Karel Dvorak.



# Modulated interference effect by ZnS nanoparticles / 3-Mercaptopropyltrimethoxysilane quasi core-shell structure: Far-infrared spectroscopy

N. ROMCEVIC<sup>1</sup>, M. CURCIC<sup>1</sup>, V. RADOJEVIC<sup>2</sup>, J. TRAJIC<sup>1,\*</sup>, N. PAUNOVIC<sup>1</sup>, B. BABIC<sup>1</sup>, B. HADZIC<sup>1</sup>, M. ROMCEVIC<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Physics Belgrade, University of Belgrade, 11080, Belgrade, Serbia*

<sup>2</sup>*Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, 11000, Belgrade, Serbia*

The ZnS nanoparticles, as starting materials in the present study, were synthesized mechanochemically. Surface modification of the obtained nanoparticles was performed by 3-Mercaptopropyltrimethoxysilane. SEM analysis indicates that modification of ZnS nanoparticles with 3-Mercaptopropyltrimethoxysilane causes the appearance of the quasi core-shell structure. The FIR spectrum analysis was performed by fitting procedure, taking into account the appearance of quasi core-shell structure. Optical and structural characteristics of both ZnS and 3-Mercaptopropyltrimethoxysilanes are revealed on the spectrum. An interference effect modulated by the ZnS phonon properties was also detected. Obtained results indicate that the quasi core-shell structures could be successfully applied in the interferometry.

(Received March 1, 2022; accepted August 10, 2022)

*Keywords:* Surface modification, Nanoparticles, Far-infrared spectroscopy, Core-shell structure

## 1. Introduction

Nanostructures in which the properties of organic molecules are combined with the optoelectronic properties of semiconductors are the best example of theoretical and experimental research that found its place in the industry. At the present, this primarily refers to the colour control of these structures, as a direct consequence of quantum confinement of electronic states [1]. This effect found its application in optoelectronic systems such as light-emitting diodes [2, 3] and photovoltaic cells [4], or as components of future nanoelectronic devices. The search for new nanodimensional systems and effects that can lead to their new applications is ongoing and represents a significant challenge.

It is well known that the characteristics of nanomaterials are essentially different from the characteristics of bulk materials [5]. Nanomaterials, due to their specific structure and small size, cannot be used on a large scale, especially when engineering applications are concerned [6].

The core-shell semiconductor nanostructures consist of the quantum semiconductor dots in the core and some other semiconductor material in the shell that surrounds the core. Due to their modularity, these structures are easily designed and engineered with the aim to obtain new characteristics. It is interesting to note that these new properties are somewhere between those registered in the bulk materials and those created as a result of the material dimensions reduction [7]. On the other hand, the colloidal semiconductor nanocrystals [8, 9] consist of semiconductor nanoparticles with diameters in the range

of 1–10 nm surrounded by organic material. This structure allows the simultaneous manifestation of the physical and chemical properties of organic molecules and the optoelectronic properties of semiconductors.

For the surface modification of inorganic particles, most often the silane-based products with bifunctional molecules are used, *i.e.* the hydrolysable group that bonds with the surface of inorganic particles and the non-hydrolyzed group as R group, which reacts with the polymer matrix [10]. When the ZnS surface modification is concerned, 3-Mercaptopropyltrimethoxysilane is considered due to the thiol functional group presence. The bonding with ZnS can be established through hydrogen bonding between the S-H group and dipole-dipole bonding. This modification enables better ZnS dispersion in polymer nanocomposite and in that way provides very favourable optical properties of the obtained nanocomposite [10, 11].

In our earlier reports [12, 13] far-infrared and Raman spectroscopy were utilized to study the structural and optical characteristics of ZnS obtained by mechanochemical synthesis. The relation between the synthesis parameters and the effects related to the nanoparticles dimensions was investigated. Previously published results indicated that the ZnS nanopowders obtained during milling for 10 min are characterized with the best properties.

In the present work, the ZnS nanoparticles with the surface-modified by 3-Mercaptopropyltrimethoxysilane were synthesized and analyzed with the scope to obtain a quasi core-shell structure with a pronounced interference effect modulated by the ZnS phonon properties.



## Vibrational properties of the mechanochemically synthesized Cu<sub>2</sub>SnS<sub>3</sub>

Milica Curcic

*Institute of Physics Belgrade, pregrevice 118, 11000 Belgrade, Serbia*

**Contact:** Milica Curcic ( [milicap@ipb.ac.rs](mailto:milicap@ipb.ac.rs) )

**Abstract.** Cu<sub>2</sub>SnS<sub>3</sub> (CTS) is a simple and promising material for solar cells. This material exists in nature as a mineral molybdenite [1]. The ternary CTS is composed of earth abundant, nontoxic, and inexpensive elements such as Cu, Sn, and S and has a good stability within the Cu–Sn–S family and lack of Fermi level pinning [2,3]. Various physical and chemical techniques have been employed for synthesis of CTS nanocrystals among which mechanochemical synthesis is a great alternative due to its simplicity, solvent-free character, and reproducibility. We present the analysis of the vibration properties of mechanochemically synthesized CTS nanocrystals. The milling time influence on CTS synthesis from elemental precursors Cu, Sn, and S was observed. The scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), and Raman spectroscopy was used to characterize the crystal structure and compositional purity of the obtained nanoparticles. In order to investigate the individual steps of the synthesis, samples obtained after 15 s and 5, 10, 15, and 30 min of milling time were analyzed. The detailed analysis of the Raman spectra has allowed us to determine the wavenumber of the main and weaker peaks, and discern the phase, crystal structure, and secondary phases. The formation of monoclinic and tetragonal CTS phases, with oxidized surface (due to milling in air) was confirmed.

### REFERENCES

- [1] V. R. M. Reddy, M. R. Pallavolu, P. R. Guddeti, S. Gedi, K. K.Y. B. Reddy, B. Pejjai, W. K. Kim, T. R. R. Kotte, C. Park, *J. Ind. Eng. Chem.* (2019), 76, 39.
- [2] P. Zawadzki, L. L. Baranowski, H. Peng, E. S. Toberer, D. S. Ginley, W. Tumas, A. Zakutayev, S. Lany, *Appl. Phys. Lett.* 2013, 103, 1.
- [3] L. L. Baranowski, P. Zawadzki, S. Christensen, D. Nordlund, S. Lany, A. C. Tamboli, L. Gedvilas, D. S. Ginley, W. Tumas, E. S. Toberer, A. Zakutayev, *Chem. Mater.* 2014, 26, 4951.



# 17<sup>th</sup> Photonics Workshop

10<sup>th</sup> – 14<sup>th</sup> March 2024, Kopaonik, Serbia

---

## ***CERTIFICATE OF ATTENDANCE***

This is to certify that

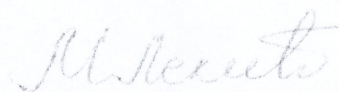
**Milica Ćurčić**

Institute of Physics Belgrade, Serbia

has attended the 17<sup>th</sup> Photonics Workshop

and presented an invited talk titled:

**„Vibrational properties of the mechanochemically synthesized  
Cu<sub>2</sub>SnS<sub>3</sub>“**



**dr Marina Lekić**

Chair of the Organizing Committee

---





РЕПУБЛИКА СРБИЈА  
ЗАВОД ЗА ИНТЕЛЕКТУАЛНУ СВОЈИНУ  
СЕКТОР ЗА ПАТЕНТЕ  
ОДЕЉЕЊЕ ЗА МАШИЊСТВО,  
ЕЛЕКТРОТЕХНИКУ И ОПШТУ ТЕХНИКУ  
990 број 2024/2376-МП-2023/0057  
Датум: 13.3.2024. године  
Београд, Кнегиње Љубице 5

2-1/7

Завод за интелектуалну својину у Београду, Кнегиње Љубице 5, и то овлашћено службено лице Наташа Миловановић, на основу члана 36. Закона о министарствима („Службени гласник РС”, бр. 128/20 и 116/22), чл. 67, 69, 70. 109, 111, 164. и 167. Закона о патентима („Службени гласник РС”, бр. 99/11, 113/17 - др. закон, 95/18, 66/19 и 123/21) и Решења о преносу овлашћења за доношење и потписивање управних и других аката Завода за интелектуалну својину 990 број 021-18245/2021-01 од 1.12.2021. године, у управном поступку по пријави малог патента број МП-2023/0057 од 8.11.2023. године, подносиоца Универзитет у Београду, Институт за физику Београд, Институт од националног значаја за Републику Србију, Прегревица 118, 11080 Земун-Београд, ради признања малог патента, донео је 13.3.2024. године

## РЕШЕЊЕ

1. ПРИЗНАЈЕ СЕ правном лицу Универзитет у Београду, Институт за физику Београд, Институт од националног значаја за Републику Србију, Прегревица 118, 11080 Земун-Београд, мали патент по пријави број МП-2023/0057 од 8.11.2023. године, за проналазак под називом: „РОТИРАЈУЋИ МУЛТИФУНКЦИОНАЛНИ НОСАЧ ЗА РЕПРОДУЦИБИЛНОСТ МЕРЕЊА РАЗЛИЧИТИХ ЧВРСТИХ УЗОРАКА У РАМАНОВОЈ СПЕКТРОСКОПИЈИ”, према опису, патентним захтевима и цртежима из патентног списка.

2. УПИСУЈЕ СЕ у Регистар малих патената Завода за интелектуалну својину признато право из тачке 1. диспозитива овог решења под бројем

1807

3. Податке о признатом праву објавити у „Гласнику интелектуалне својине”, број 3/2024.

## Образложење

Правно лице Универзитет у Београду, Институт за физику Београд, Институт од националног значаја за Републику Србију, Прегревица 118, 11080 Земун-Београд, подносилац је пријаве малог патента број МП-2023/0057 од 8.11.2023. године, за проналазак под називом наведеним у диспозитиву решења.

У спроведеном поступку за признање малог патента утврђено је да су испуњени услови из члана 164. став 1. Закона о патентима.



Имајући у виду наведено, Завод за интелектуалну својину је, на основу чл. 164, 167, 109. и 111. Закона о патентима, одлучио као у диспозитиву овог решења.

Подносилац пријаве ослобођен је плаћања републичких административних такси на основу одредбе члана 18. став 1. тачка 4) Закона о републичким административним таксама („Службени гласник РС”, бр. 43/03, 51/03 – исправка, 61/05, 101/05 – др. закон, 5/09, 54/09, 50/11, 93/12, 65/13 – др. закон, 83/15, 112/15, 113/17, 3/18 – исправка, 95/18, 86/19, 90/19 – исправка, 144/20, 138/22 и 54/23 – усклађени дин. износи).

Упутство о правном средству:

Против овог решења може се изјавити жалба Влади Републике Србије у року од 15 дана од дана његовог пријема, а преко овог завода. Уз жалбу треба доставити доказ о уплати административне таксе у износу од 560,00 динара.

Решење доставити:

- подносиоцу пријаве  
преко пуномоћника за пријем писмена

Вуковић Ђорђе  
Институт за физику Београд  
Прегревица 118  
11080 Земун-Београд

- у спис

Виши саветник



Наташа Миловановић  
Наташа Миловановић





**Milica Curcic**

Institute of Physics Belgrade

	All	Since 2019
Citations	256	178
h-index	10	8
i10-index	10	7

TITLE	CITED BY	YEAR
Raman spectroscopy of optical properties in CdS thin films J Trajčić, M Gilić, N Romčević, M Romčević, G Stanišić, B Hadžić, ... Science of Sintering 47 (2), 145-152	53	2015
Structural properties and luminescence kinetics of white nanophosphor YAG: Dy MS Rabasovic, D Sevic, J Krizan, MD Rabasovic, S Savic-Sevic, M Mitric, ... Optical Materials 50, 250-255	40	2015
Optical properties of CuSe thin films-band gap determination M Petrović, M Gilić, J Ćirković, M Romčević, N Romčević, J Trajčić, I Yahia Science of Sintering 49 (2), 167-174	27	2017
Structural and optical properties of CuSe <sub>2</sub> nanocrystals formed in thin solid Cu–Se film M Gilić, M Petrović, R Kostić, D Stojanović, T Barudžija, M Mitrić, ... Infrared Physics & Technology 76, 276-284	22	2016
Raman spectroscopy of bismuth silicon oxide single crystals grown by the Czochralski technique Z Lazarević, S Kostić, V Radojević, M Romčević, M Gilić, ... Physica Scripta 2013 (T157), 014046	17	2013
Determination of magneto-optical quality and refractive index of bismuth germanium oxide single crystals grown by Czochralski technique ZŽ Lazarević, P Mihailović, S Kostić, MJ Romčević, M Mitrić, S Petričević, ... Optical Materials 34 (11), 1849-1859	17	2012
Optical properties of layered III–VI semiconductor $\gamma$ -InSe: M (M= Mn, Fe, Co, Ni) A Milutinović, ZŽ Lazarević, M Jakovljević, B Hadžić, M Petrović, M Gilić, ... Journal of Physics and Chemistry of Solids 89, 120-127	12	2016
Low-temperature photoluminescence of CuSe <sub>2</sub> nano-objects in selenium thin films M Gilić, M Petrović, J Ćirković, N Paunović, S Savić-Sević, Ž Nikitović, ... Processing and Application of Ceramics 11 (2), 127-135	44	2017
Low-temperature photoluminescence of CuSe <sub>2</sub> nano-objects in selenium thin films M Gilić, M Petrović, J Ćirković, N Paunović, S Savić-Sević, Ž Nikitović, ... Processing and Application of Ceramics 11 (2), 127-135	11	2017
Optical properties of the mechanochemically synthesized Cu <sub>2</sub> FeSnS <sub>4</sub> (stannite) nanocrystals: Raman study J Trajic, M Romcevic, M Petrovic, M Gilic, P Balaz, A Zorkovska, ... Optical Materials 75, 314-318	10	2018