

## НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ

На седници Научног већа Института за физику у Београду, одржаној **09.02.2016.** године, именовани смо за чланове Комисије за избор др Александра Томовића у звање научни сарадник. Након увида у материјал који нам је достављен, као и на основу личног познавања кандидата и увида у његов рад, Научном већу Института за физику подносимо следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Стручно – биографски подаци

Александар Томовић рођен је 26.02.1981. у Београду. Основну школу и Гимназију завршио је у Београду. Физички факултет у Београду уписао је школске 1999/2000. године. Дипломски рад на тему „Неутринске осцилације (LSND експеримент)“ под менторством проф. др Ивана Аничина одбранио је 2008. године са оценом 10 и стекао звање: дипломирани физичар. Физички факултет је завршио са просечном оценом 8,92.

Докторску дисертацију под називом „Електронске особине и морфологија танких филмова органских материјала добијених комбинаторијалним напаравањем из гасне фазе“ („Electronic properties and morphologies of thin films of organic molecules obtained by combinatorial deposition from gaseous phase“), урађену под руководством др Владимира Јовановића, одбранио је 23.12.2015. године на Физичком факултету Универзитета у Београду.

Од 2009. до 2010. године био је ангажован на међународном FP7 пројекту „Nano Tools for Ultra Fast Dna Sequencing“ под руководством др Радомира Жикића.

Од 2011. године запослен је на Институту за физику, где је као учесник ангажован на пројектима основних истраживања 171033 „Електронске, транспортне и оптичке особине нанофазних материјала“ под руководством др Радомира Жикића и интердисциплинарних истраживања 41028 „Интегрална студија идентификације регионалних генетских фактора ризика и фактора ризика животне средине за масовне незаразне болести хумане популације у Србији“ под руководством др Драгана Алавантића. Звање истраживач сарадник стекао је у јуну 2014. године.

#### 2. Анализа научне активности

Научно-истраживачки рад др Александра Томовића припада области *физике чврстог стања*, а подобласти *танких органских филмова*.

Прве научне активности др Александра Томовића биле су у вези са поставком експеримента за транслокацију ДНК молекула кроз нанопору у мембрани од силицијум нитрида, у оквиру међународног FP7 пројекта „Nano Tools for Ultra Fast Dna Sequencing“ под руководством др Радомира Жикића.

По окончању овог пројекта, почео је да се бави испитивањем утицаја спољашњих фактора (излагање УВ зрачењу у различитим атмосферама) на морфолошке и оптичке особине једнокомпонетних танких слојева органских материјала који се користе у органским електронским уређајима, што је уједно и тема његове докторске дисертације. Изучавани су танки слојеви два позната органска молекула: N,N'-bis(3-methylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)benzidine (TPD), 4,4'-bis(2,2-diphenylvinyl)-1,1'-biphenyl (DPVBi), који се користе у изради органских светлећих диода (TPD као слој за транспорт шупљина а DPVBi као емисиони слој). Истраживања чија је тема деградација танких филмова малих молекула су ретка (углавном се испитују полимерни материјали), а посебно су ретка она у којима се анализирају процеси деградације једнокомпонетних слојева. Због тога резултати овог истраживања доприносе дубљем разумевању понашања танких слојева малих молекула и идентификацији могућих узрока деградације уређаја који их у себи садрже.

Циљ рада је било разумевање физичких процеса који се одвијају у танким органским слојевима изложеним УВ зрачењу у различитим атмосферама, прецизније, откривање узрока повећане морфолошке стабилности озрачених филмова и гашења фотолуминесценције.

Уз помоћ различитих спектроскопских метода (оптичка, масена, AFM и NMR спектроскопија) показано је да озрачивање танких филмова DPVBi и TPD молекула у присуству ваздуха доводи до њихове оксидације, што за последицу има повећану морфолошку стабилност. Осим овог ефекта долази и до брзог гашења фотолуминесценције уз готово неприметну промену у апсорпционом спектру. Предложен је механизам гашења луминесценције који подразумева ауто-дифузију ексцитона. Овакав механизам је очекиван и код филмова других молекула који испуњавају следеће услове: а) формирају аморфне филмове, б) оксидују у присуству светлости и ваздуха и в) постоји преклапање између апсорпционог и фотолуминесцентног спектра. Брзина гашење фотолуминесценције тада зависи од дужине дифузије ексцитона и концентрације нечистоћа.

За изучавање морфологија коришћени су аморфни TPD и DPVBi танки филмови (до 150 nm дебљине) који поседују расподелу дебљине, а добијени су комбинаторијалним напаравањем у вакууму на стаклени супстрат на собној температури. Чак и на собној температури ови филмови нису морфолошки стабилни; на најтањим деловима филма долази до формирања капљичасте структуре. За разлику од TPD, код DPVBi филмова долази и до кристализације у кратком временском року (неколико сати након евапорације). Још раније је утврђено од стране корејске групе да осветљавање танких филмова TPD молекула доводи до повећане морфолошке стабилности, али механизам стабилизације није био објашњен. У случају TPD молекула кандидат је потврдио резултат корејске групе: УВ третман зауставља формирање капљичасте структуре. Показао је да третман УВ светлошћу у ваздуху доводи до заустављања и кристализације и формирања капљичасте структуре у случају DPVBi филмова. Утврдио је да је присуство оксидованих врста одговорно за повећану морфолошку стабилност TPD и DPVBi филмова. Механизам стабилизације (тј. заустављање морфолошких промена) кандидат је објаснио формирањем водоничних веза између оксидованих врста и непромењених молекула, односно супстрата.

Процес оксидације у танким слојевима TPD и DPVBi молекула озрачиваних УВ светлошћу у ваздуху кандидат је изучавао уз помоћ инфрацрвене, масене и NMR спектроскопије. Резултати масене спектроскопије су показали присуство маса које одговарају маси почетног молекула уз додатак једног или више атома кисеоника. Присуство кисеоника је потврђено резултатима инфрацрвене спектроскопије где су јасно уочене промене у регионима спектра који одговарају присуству C-O, C=O и O-H веза. У случају осветљених TPD филмова присуство нових оксидованих врста молекула је додатно потврђено резултатима NMR спектроскопије. Процес оксидације није уочен код филмова који су осветљавани у вакууму. Закључено је да *симултано присуство УВ светлости и кисеоника у филмовима доводи до појаве нових оксидованих молекула – нечистоћа.*

Кандидат је испитивао утицај УВ зрачења на фотолуминесценцију танких филмова TPD и DPVBi молекула. Ово је посебно важно у случају DPVBi молекула будући да се користи као емисиони слој у органским светлећим диодама. Фотолуминесценција је последица деексцитације синглетних ексцитона. Студирањем апсорпционих и фотолуминесцентних спектра у зависности од времена осветљавања утврђено је да присуство 0.4 % (0.2 %) нечистоћа у случају TPD (DPVBi) изазива пад интензитета фотолуминесценције од 50 %. Ово имплицира нетривијални механизам гашења фотолуминесценције. За оба молекула је растојање између нечистоћа при овим условима мање или приближно једнако дужини дифузије ексцитона, што је неопходан услов за гашење фотолуминесценције. Предложен је механизам гашења: ексцитони дифундују у скоковима од једног до другог молекула DPVBi (TPD) случајним ходом путем Форстеровог дугодометног резонантног трансфера енергије. Ако у току свог времена живота ексцитон дође у близину нечистоће долази до Декстеровог трансфера енергије и гашења фотолуминесценције.

Поред овог главног правца, постојао је још један правац истраживања посвећен карактеризација микро и нано штапића формираних услед грејања танких филмова пентацена у ваздуху. Кандидат је танке филмове пентацена (до 200 nm дебљине) добио комбинаторијалним напаравањем у вакууму на стаклени супстрат на собној температури. Филмове је карактеризовао различитим спектроскопским методама и утврдио да они поседују поликристалну структуру. Затим је такве филмове грејао на 130°C у ваздуху и добио на његовој површини микро и нано штапиће. Поставило се питање каква је структура ових објеката. Карактеризација масеном и инфрацрвеном спектроскопијом је показала да се састоје од оксидованих молекула пентацена. Сlike штапића добијене уз помоћ SEM и AFM указују на то да они поседују кристалну структуру. Резултат грејања пентаценских филмова је посебно интересантан будући да, иако су пентаценски филмови пуно проучавани, формирање оваквих структура није пријављено у литератури, бар према досадашњим сазнањима кандидата. Због својих димензија овакви нано и микро објекти потенцијално могу лако да буду инкорпорирани у органске електронске уређаје. Даља истраживања су неопходна да би се установило да ли постоји практична примена.

Кандидат др Александар Томовић је током свог истраживачког рада показао самосталност и овладао бројним експерименталним техникама у које спадају:

оптичка апсорпциона и емисиона спектроскопија, Раман спектроскопија, АФМ, масена спектроскопија, вакуумска техника, напаривање танких органских слојева.

### 3. Испуњеност квантитативних услова за избор у звање научни сарадник

#### Списак публикација

##### Радови у водећим међународним часописима (M21)

1. **A.Ž. Tomović**, N.Markešević, M. Scarpellini, S. Bovio, E. Lucenti, P.Milani, R. Zikic, V.P. Jovanović, V.I. Srdanov, *Stabilization of N,N'-bis(3-methylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)benzidine thin film morphology with UV light*, Thin Solid Films **562** (2014) 99–103. (M21, ИФ = 1.604 (2012))

2. **A. Ž. Tomović**, V. P. Jovanović, I. Đurišić, V. Z. Cerovski, B. Nastasijević, S. R. Veličković, K. Radulović, R. Žikić, *Fast photoluminescence quenching in thin films of 4,4'-bis(2,2-diphenylvinyl)-1,1'-biphenyl exposed to air*, Journal of Luminescence **167** (2015) 204–210. (M21, ИФ = 2.719 (2014))

##### Предавање по позиву са међународног скупа штампано у изводу (M32)

3. **A. Ž. Tomović**, V. P. Jovanović, R. Žikić, „Interaction of UV irradiation with thin films of organic molecules“, Advanced Ceramics and Application IV, september 21-23, 2015, Belgrade, Serbia. Programme and the book of abstracts (ISBN 978-86-915627-3-1) pp. 43.

##### Саопштења са међународних скупова штампана у целини (M33)

4. B. Nastasijević, **A.Ž. Tomović**, V.P. Jovanović, R. Žikić and S. Veličković, *Analysis of 4,4'-bis(2,2'diphenyl vinyl)-1,1'-biphenyl using the atmospheric-pressure solids analysis probe for ionization*, 12th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry – PHYSICAL CHEMISTRY 2014, Belgrade – Serbia, September 22 – 26, 2014. PHYSICAL CHEMISTRY 2014: Proceedings Vol. III (ISBN 978-86-82475-32-3) pp. 1063-1066.

##### Саопштења са међународних скупова штампана у изводу (M34)

5. **A. Ž. Tomović**, V. P. Jovanović, I. Djurišić, V. Z. Cerovski, B. Nastasijević, S. Veličković, K. Radulović, R. Žikić and V. I. Srdanov, *Degradation of thin 4,4'-bis(2,2'diphenyl vinyl)-1,1'-biphenyl films by UV light*, XVI annual conference YUCOMAT 2014, Herceg Novi – Montenegro, September 1 – 5, 2014. Programme and the book of abstracts pp. 100.

## Радови у водећим часописима националног значаја (M51)

6. **A. Ž. Tomović**, V. P. Jovanović, I. Đurišić, M. Pejić, V. Cerovski, S. Blesić, R. Žikić, *Mehanizam gašenja fotoluminescencije u tankim filmovima N,N'-bis(3-methylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)benzidine osvetljenih UV svetlošću u vazduhu*, Tehnika –Novi materijali 24 (2015) 6. DOI: 10.5937/tehnika1506909T

## Предавања по позиву са скупова националног значаја штампана у изводу (M62)

7. **A.Ž. Tomović**, N. Markešević, M. Scarpellini, S. Bovio, E. Lucenti, P. Milani, R. Zikić, V.P. Jovanović and V.I. Srdanov, *Towards the mechanism of stabilization of TPD thin films with UV light*, APOSTILLE workshop 02: Printed, flexible and nano electronics, Novi Sad – Serbia, May 9 – 11, 2013. APOSTILLE Abstract Collection pp. 23.

## Одбрањена докторска дисертација (M71)

8. „Електронске особине и морфологија танких филмова органских материјала добијених комбинаторијалним напаравањем из гасне фазе“ („Electronic properties and morphologies of thin films of organic molecules obtained by combinatorial deposition from gaseous phase“) **Александар Томовић**, Физички факултет, Универзитет у Београду (2015).

## Остварени резултати у периоду пре избора

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова
M21	8	2	16
M32	1.5	1	1.5
M33	1	1	1
M34	0,5	1	0,5
M51	2	1	2
M62	1	1	1
M71	6	1	6

## Поређење са минималним квантитативним условима за избор у звање научни сарадник:

Минималан број М бодова	Остварено	
Укупно	16	28
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42	10	18.5
M11+M12+M21+M22+M23+M24	5	16

## 4. Елементи за квалитативну анализу рада кандидата

1. Показатељи успеха у научном раду

### 1.1 Награде и признања за научни рад

- Сертификат о завршеном тренингу за Cleanroom стечен на међународној радионици „International Workshop on Cleanroom Training“ 21.06. – 04.07.2010., Анкара, Турска.

### 1.2 Уводна предавања на конференцијама и друга предавања по позиву

- Предавање по позиву на међународној конференцији „Advanced Ceramics and Application IV“, одржаној у септембру 2015. године Београду.

## 2. Ангажованост у развоју услова за научни рад, образовању и формирању научних кадрова

### 2.3 Педагошки рад

Кандидат је учествовао у изради мастер радова:

- Јадранке Милетић, одбрањен 2012. године на Хемијском факултету, Универзитета у Београду.
- Милице Ковачевић, одбрањен 2013. године на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду.

## 4. Квалитет научних резултата

Кандидат је у свом досадашњем раду објавио **2** рада категорије **M21** (врхунски међународни часописи), **1** категорије **M32** (Предавање по позиву са међународног скупа штампано у изводу), **1** категорије **M33** (саопштење са међународних скупова штампана у целини), **1** категорије **M34** (саопштење са међународних скупова штампана у изводу) и **1** категорије **M62** (Предавање по позиву са скупа националног значаја штампано у изводу).

У категорији M21 кандидат је објавио радове у следећим часописима:

1 рад у *Journal of Luminescence* **ИФ = 2.719**

1 рад у *Thin Solid Films* **ИФ = 1.604**

**Укупан импакт фактор** радова кандидата у часописима категорији M21 је **4,323**.

## 5. Мишљење и предлог

Имајући у виду досадашњи научни рад и постигнуте резултате др Александра Томовића, као и достигнути ниво истраживачке компетентности, сматрамо да др Александар Томовић испуњава све услове из Закона о научно-истраживачкој делатности и Правилника о поступку и начину вредновања и

квантитативном исказивању научно-истраживачких резултата истраживача Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, за избор у звање **научни сарадник** и

**ПРЕДЛАЖЕМО**

Научном већу Института за физику да подржи избор др Александра Томовића у звање **научни сарадник**.

У Београду, 11.02.2015. године.

Чланови комисије:

---

др Радомир Жикић, виши научни сарадник,  
Институт за физику, Београд

---

др Радош Гајић, научни саветник,  
Институт за Физику, Београд

---

др Владимир Јовановић, научни сарадник,  
Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд