

АВТОРСКА СПРАВКА ЗА НАУЧНИТЕ ПРИНОСИ

на гл. ас. д-р Ирина Елкова Бинева

1) ТВОРЧЕСКА БИОГРАФИЯ

Образование:

- 2005** Доктор по научната специалност 01.03.26 “Електрични, магнитни и оптични свойства на кондензираната материя”, Институт по физика на твърдото тяло “Акад. Георги Наджаков” - Българска академия на науките
Тема на дисертацията - “Силициеви наночастици в термично отложени слоеве от SiO_x ”,
Научен ръководител: проф. дфн Диана Нешева
- 1997** Магистър по органична и аналитична химия, катедра Органична химия към ХФ – Софийски Университет “Св.Климент Охридски”
Тема на дипломната работа - „Експериментално и Ab Initio изследване на ИЧ-спектрите и строежа на транс-бензилиден-цианоацетамид и неговите цианидни (^{14}N и ^{15}N) и метоксидни адукти”
Научен ръководител: акад. дхн Иван Юхновски
- 1991** Средно образование,
Паралелка с повишено изучаване на химия към
Техникум по химични технологии „Мария Кюри”, Враца

Специализации

и

курсове:

30.05 – 11.06.2010

NATO ADVANCED STUDY INSTITUTE School
“Nanotechnological Basis of Advanced Sensors” - Sozopol,
Bulgaria.

2009-2010

Едногодишна стипендия за специализация от World Federation of Scientists, WFS Planetary emergency AIDS and infection diseases, Fight against tumor diseases, за AFM и MFМ измервания на биоферофлуиди, с ръководител проф.

И. Недков от ИЕ, БАН 2009-2010.

01-13.07.2008 NATO Advanced Study Institute, Functional Properties of Nanostructured Materials, 01-13 June 2008, Sozopol, Bulgaria.

15.02.2006-14.02.2007. Постдокторска специализация като Experienced researcher в Marie Curie RTN “Advanced Handling and Assembly in Microtechnology- ASSEMIC” в National Institute for Research and Development in Microtechnologies (IMT-Bucharest), 126A, *Erou Iancu Nicolae street, 077190, Bucharest, ROMANIA*. Ръководител: доцент д-р Ралука Мюлер

юли 2006, юли 2007 2 месеца в Institute of Physics, Carl von Ossietzky University –Oldenburg, Германия по Програма за обмен на кадри по изследователски проекти (ОКИП) между република България и федерална република Германия

08.2006г. Курс по Микророботика, FSRM, Neuchatel, Switzerland

03-14.06.2005 NATO Advanced Study Institute, Functional Properties of Nanostructured Materials, Sozopol, Bulgaria.

25.06-5.07.2002 International School of Physics “Enrico Fermi”, course on “Electron and Photon confinement in Semiconductor Nanostructures”, Varenna, Italy.

10– 16.10.2000 Autumn School on Materials Science and Electron Microscopy 2000, Berlin, Electron Microscopy of Catalysts and Nanostructured Materials

Работа: Институт по Физика на твърдото тяло “Акад. Георги Наджаков” – Българска академия на науките
Направление „Нанофизика”, лаборатория „Фотоелектрични и оптични явления в широкозонни полупроводници”
под ръководството на проф. дфн Диана Нешева:

2011- Главен асистент

2007-2011 Н.с. I ст.

2005-2007 Н.с. II ст.

2004-2005 СВО-Химик

1998, 2000-2003 Редовен докторант, (две години прекъсване по майчинство).

1997-1998 СВО-Химик

2) ПЕДАГОГИЧЕСКА ДЕЙНОСТ

Лектор на курс за оператори на SPM – „Основи на атомно-силовата микроскопия” – 24 часа теория и практика през май 2010.

Обучение и ръководство на кандидат-оператори - 5 в периода 2008-2012.

3) ДРУГИ ДЕЙНОСТИ :

Регулярна сервизна дейност като главен оператор на сканиращия сондов микроскоп (Veeco Multimode V) в център „Физични свойства на материали, повърхности и структури” към *Институт по физика на твърдото тяло „Акад. Г. Наджакон” – БАН*. Извършване на AFM, MFM, EFM, KPM, CAFM, Force Modulation and Nanoindentation измервания за нуждите на физическите институти.

Участие в организацията на обществена поръчка за закупуване на сканиращ сондов микроскоп, подготовка на документацията, участие в комисията за оценяване като експерт, лице за контакти.

Участие в договори и проекти:

Ръководител на един младежки проект –

-ДМУ-03-91 “Изследване на нови халкогенидни материали със сканираща сондова микроскопия“ (12.2011-12.2013) финансиран с 45 613 лв

и участник в 2 национални, 3 билатерални и 5 международни проекта:

I. Участие в научен проект, финансиран от външни за България източници

1. **The Royal Society: Joint Project UK – Bulgaria** Тема:Електронни свойства на нанокристални II-VI полупроводници Продължителност: 2001-2003 финансиран с 3000 евро.
2. **дог. Д-01-78** - Програма за обмен на кадри по изследователски проекти (ОКИП) между република България и федерална република Германия Електрични и оптични свойства на многослойни структури, включващи силициеви наночастици, подходящи за приложения в електрониката – съвместно финансиран от ДААД и МОН, България, 2006-2008, финансиран с 13 200 лева.
3. **European FP6 Project: Marie Curie Research Training Network “Advanced Handling and Assembly in Microtechnology-ASSEMIC”** - Contract No: MRTN-CT-2003 504826 - 2006-2007 (www.assemic.net)
4. **Word Federation of Scientists** , WFS Planetary emergency AIDS and infection diseases, Fight against tumor diseases, 2009-2010. **1 година**
5. **дог. БМ-1** - Примерни ансамбли от полупроводникови квантови точки: структура, оптични, електрични и фотоелектрични свойства, 2008 г.-, съвместно финансиран от МОН на Македония и България, финансиран за първия отчетен период с 5000 лева.

II. Участие в научен проект, финансиран от български източници

Договори с МОН-НФНИ

1. **дог.Ф1306** - Дефектни състояния във фотопроводници с различна размерност (01.2004-06.2007) финансиран с 11 800 лева.

2. дог.НТ-04 - Многослойни структури и нанокomпозитни материали за приложения в електрониката :

Модул НТ-04 - 1: Многослойни структури, включващи силициеви наночастици, **подходящи** за направа на електронни памети и едноелектронни устройства - МОН, 2006-2010 г. Модул 1 е финансиран с 33 500 лева.

III. Участие в договори за обмяна на учени:

1. **ЕБР между БАН и Сръбската академия на науките и изкуствата**

Тема: Раманово разсейване и фотолуминесценция от полупроводникови наночастици;
Продължителност:2004-2006

2. **ЕБР между БАН и Сръбската академия на науките и изкуствата**

Тема: Наноструктурирани тънкослойни полупроводници за приложение като сензори и памети Продължителност:2007-2009

3. **ЕБР между БАН и Сръбската академия на науките и изкуствата**

Тема: Оптично и фотоелектрично характеризирани на тънки хомогенни и наноструктурирани слоеве на базата на ZnSe, Белград, Сърбия, 2010-2012 г.

Признат български патент № 65971/09.09.2010. от колектив в състав Д. Нешева, Н. Недев, Е. Манолов, Р. Брюгеман, С. Майер, З.Леви, **И.Бинева**, „Метал-изолатор-силиций структури, съдържащи силициеви наночастици и метод за производството им”

Доклади на конференции – общо 29:

I. Устен доклад на международна конференция

1. D.Nesheva, Z. Levi, Z. Aneva, **I. Bineva** and Ts. Merdzhanova, “Annealing-induced changes in thermal SiO_x thin films”, Chelsea amorphous and organic semiconductors meeting, London 5-6 April, 2001. Abstract published.
2. D.Esinenco, R. Muller , **I. Bineva**, R. Voicu, A. Schneider, S. Serra and S.E. Huq “Microcantilever Arrays used in Biochemical Applications”, EMRS Spring Meeting – Symposium Q, Nice, France, May 2006 - Oral presentation.
3. **I. Bineva**, R. Voicu, D. Esinenco, A. Dinescu, R. Muller, B. Bucur, M. Diaconu and L.G. Radu “Stress and displacement in cantilever based transducers for biosensing application” CAS 2006 International Semiconductor Conference, Sinaia, Romania, september 26-29, 2006, CAS 2006 proceedings, **Vol.1** , pp 223, ISBN 1-4244-0109-7. – Oral presentation

II. Постер на международна конференция

1. D. Nesheva, C. Raptis, Z. Levi, **I. Bineva** and Z Aneva, “Alloying at the interface of ZnSe/CdSe multilayers and ZnSe-CdSe composite films: A Raman study”, Autumn School on Materials Science and Electron Microscopy 2000, Berlin 10th – 16th October 2000, Electron Microscopy of Catalysts and Nanostructured Materials, poster presentation.
2. **I. Bineva**, D. Nesheva, Z. Levi, Z. Aneva and H. Hofmeister, “Silicon nanoparticle growth in thermal SiO_x thin films”, International School of Physics “Enrico Fermi”, course on

- “Electron and Photon confinement in Semiconductor Nanostructures”, Varenna, Italy, 25.6-5.07.2002. Poster presentation.
3. **I. Bineva**, D.Nesheva, Z.Aneva, Z.Levi, C.Raptis, H.Hofmeister, S.Stavrev, “Effects of annealing atmosphere and substrate on the photoluminescence and Raman scattering from Si nanocrystals in SiO₂ matrix”, 12ISCMP, Varna’02. Poster presentation
 4. **I.Bineva**, D.Nesheva, M.Sendova-Vassileva, Z.Aneva, Z.Levi, “Annealing-induced photoluminescence from a-SiO_x thin films”, 13ISCMP, Varna’04. Poster presentation, **награда за най-добър постер**.
 5. **I. Bineva**, D. Nesheva, Z.Popovic, M. Romcevic, M. Grujic-Brojcin, Z. Levi, “Dependence of a photoluminescence from Si nanoparticles in a-SiO_x matrix on the annealing time”, NATO Advanced Study Institute, Functional Properties of Nanostructured Materials, 03-14 June 2005, Sozopol, Bulgaria. Poster presentation.
 6. N. Nedev, D. Nesheva, E. Manolov and **I. Bineva**, “Memory effect in MIS structures with Silicon nanoparticles embedded in SiO₂”, VEIT2005, 11-16.09.2005, Synny Beach, Bulgaria. Poster presentation.
 7. D. Esinenco, E. Budianu, **I. Bineva**, D. Andrijasevic, E. Manea, W. Brenner and R. Müller „Integrated optical proximity microsensors” EMRS Spring Meeting - Nice, France, May 2006 - Poster presentation.
 8. M. J. Šćepanović, M. Grujić-brojčin, **I. Bineva**, D. Nesheva, z. Aneva, z. Levi, z. V. Popović , “Raman study of ZnSe/SiO_x multilayers” 14th ISCMP September 17th-September 22nd, 2006, Varna, Bulgaria. Poster presentation. 1.15.
 9. N. Nedev, D. Nesheva, E. Manolov and **I. Bineva**, “Memory effect in MIS structures with Silicon nanoparticles embedded in SiO₂”, 7th International Congress of Solid State Chemistry, 24-29 September, 2006, Pardubice, Czech Republic - Poster presentation
 10. D. Nesheva, **I. Bineva**, Z. Levi, N. Nedev, Zh. Dimitrov, “Transport of photoexcited charge carriers via metal-insulator-silicon structures containing Si nanoparticles” NATO Advanced Study Institute, Functional Properties of Nanostructured Materials, 01-13 June 2008, Sozopol, Bulgaria. Постер и орална презентация – **трета награда**
 11. D. Nesheva, M. J. Scepánovic, S. Aškrić, Z. Levi, **I. Bineva**, Z. V. Popovic, Raman Scattering From ZnSe Nanolayers, 2008 E-MRS Fall Meeting, 15th-19th of September 2008 Warsaw, Poland - Poster presentation.
 12. D. Nesheva, **I. Bineva**, Z. Levi, N. Nedev, Zh. Dimitrov, “Transport of photoexcited charge carriers via metal-insulator-silicon structures containing Si nanoparticles”Condensed Matter Physics Conference of Balkan Countries, Mugla, TURKEY, 26 - 28 May, 2008. - Poster presentation. –
 13. M. Šćepanovic, M. Grujic-Brojcin, D. Nesheva, Z. Levi, **I. Bineva** and Z.V. Popovic “Characterization of ZnSe Nanolayers by Spectroscopic Ellipsometry”, 2nd NanoCharm European School on Ellipsometry, NANOELLI09, Poster presentation.
 14. M. A. Curiel, N. Nedev, D. Nesheva, J. Soares, R. Haasch, M. Sardela, B. Valdez, B. Sankaran, E. Manolov, **I. Bineva** and I. Petrov “Microstructural Characterization of Thin SiO_x Films Obtained by Physical Vapor Deposition” presented at the XVIII International Materials Research Congress in Cancun, Mexico, Symposium 13 “Advances in Semiconducting Materials”, 2009. - Poster presentation.
 15. Mario Curiel, Ivan Petrov, Nicola Nedev, Diana Nesheva, Mauro Sardela, Yuya Murata, Benjamin Valdez, Emil Manolov and **Irina Bineva** “Formation of Si nanocrystals in thin SiO₂ films for memory device applications” 1st Joint Advanced Electron Microscopy School

for Nanomaterials/Workshop on Nanomaterials (AEM-NANOMAT 09) Conference Date: SEP 29-OCT 02, 2009 Conference Location: Saltillo, MEXICO – Poster presentation.

16. L. Kolaklieva, D. Nesheva, R. Kakanakov, **I. Bineva**, V. Cimalla „SPM Electrical Characterization of Ti/Al – Based Ohmic Contacts for Sub-Micron Devices” 27th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROELECTRONICS Niš, Serbia MIEL 16-19 May 2010 Poster presented.
17. **I. Bineva**, D. Nesheva, B. Pejova, Z. Aneva, Z. Levi “Zn_xCd_{1-x}Se single layers prepared by thermal vacuum evaporation: AFM and XRD characterization” NATO ADVANCED STUDY INSTITUTE School “Nanotechnological Basis of Advanced Sensors” -30 May – 11 June 2010, situated in Sozopol, Bulgaria. short Oral Report and a Poster presented.
18. N Nedev, D Nesheva, M Curiel, E Manolov, I Petrov, B Valdez and **I Bineva** “Electrical characterization of MOS structures with self-organized three-layer gate dielectric containing Si nanocrystals” 16 ISCMP August 31th-September 3th, 2010, Varna, Bulgaria. Poster presentation, **награда за най-добър постер.**
19. D Nesheva, Z Aneva, M J Šćepanović, **I Bineva**, Z Levi, Z V Popović and B Pejova Composition and structure of Zn_xCd_{1-x}Se single layers prepared by thermal evaporation of ZnSe and CdSe 16 ISCMP August 31th-September 3th, 2010, Varna, Bulgaria. Poster presentation

III. Постер на национален форум с чуждестранно участие

1. **I. Bineva**, D. Nesheva, Z. Levi, Z. Aneva and H. Hofmeister, “Silicon nanoparticle growth in thermal SiO_x thin films” 3rd Workshop on Nanosci. and Nanotechnol., Sofia, November 2001. Poster presented.
2. **I. Bineva**, D. Nesheva, M. Sendova-Vassileva, Z. Aneva and Z. Levi, “Annealing behaviour of photoluminescence from a-SiO_x thin films”, 4th Workshop on Nanosci. and Nanotechnol., Sofia, November 2002.
3. **I. Bineva**, D. Nesheva, Z. Aneva, H. Hofmeister, “Carrier transport mechanism in SiO₂ thin films containing Si nanocrystals”, 5th Workshop on Nanosci. and Nanotechnol., Sofia, November 2003.
4. D. Nesheva, Z. D. Dohčević-Mitrović, **I. Bineva**, Z. V. Popović, G. Beshkov and Z. Levi, “Time and temperature induced changes in infrared absorbance of thermal SiO_x thin films”, 6th Workshop on Nanosci. and Nanotechnol., Sofia, November 2004.
5. **I. Bineva**, D. Nesheva, Z.V. Popović and Z. Levi „Dependence of photoluminescence from a-Si nanoparticles on the annealing time and exciting wavelength” 7th Workshop on Nanosci. and Nanotechnol., Sofia, November 2005.
6. D. Nesheva, Z. Aneva, Z. Levi, N. Vuchkov, K. Temelkov, **I. Bineva**, “Optical properties of ZnSe/SiO_x multilayers” 8th Workshop on Nanosci. and Nanotechnol., Sofia, November 2006.
7. B. Blagoev, L. Slavov, **I. Bineva**, R. E. Vandenberghe, A. J. Zaleski, I. Nedkov “Magnetic and morphology investigation of hybrid magnetite/β-cyclodextrin nanosized material” 13th Workshop on Nanosci. and Nanotechnol., Sofia, November 2011.

IV. Участие в Workshops:

1. “Cooperating in FP7 Biomedical applications of micro- and nanotechnologies” Bucharest, Romania 6th dec 2006.
2. “High technologies, innovation policy and regional development” First MINOS-EUROMET Strategy Forum on the impact of converging technologies, Bucharest, 18-19 May 2006.
3. ASSEMIC Info Day, May 13th, 2007, Sinaia, Romania.
4. 5th Национален семинар по нанонауки и нанотехнологии ROMNET-ERA, 2 март, 2006, Букурещ, Румъния.
5. Veeco Atomic Force Microscopy workshop, 24.03.2009, София, ИФТТ. – **участие в организацията.**
6. Advanced Optical and Atomic Force Microscopy seminar, ИЕ, БАН 30.06.2009г.

Рецензент за *Nanotechnology*, *Journal of Physical Chemistry* и *Surface and Coatings Technology*

Член на American Nano Society

4) ОПИСАНИЕ НА НАУЧНИТЕ ПРИНОСИ, СЪДЪРЖАЩИ СЕ В ПУБЛИКУВАНИТЕ ТРУДОВЕ)

Научните резултати в работите, чийто номера съответстват на приложения списък, могат да се групират в няколко раздела и да се формулират по следния начин:

ПОЛУЧАВАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА НОВИ МАТЕРИАЛИ

I. Силициеви наночастици в термично отложени слоеве от SiO_x

1. Получаване и изясняване на структурата

- **Получаване на стабилни, хомогенни слоеве от SiO_x с желан състав**

Въз основа на класическата техника на термично изпарение във вакуум е разработен нов технологичен процес за получаване на стабилни във времето, хомогенни слоеве от SiO_x с желан състав ($1,1 \leq x \leq 1,7$) [3]. С помощта на ИЧ спектри е доказано, че многостъпковото изпарение предотвратява наличието на вариации в композиционния състав в дълбочина на слоя [3]. Чрез промяна на остатъчното налягане и вариране на скоростта на изпарение са получени слоеве с кислородно съдържание от 1,1 до 1,7, определени с Ръдърфордово обратно разсейване и ИЧ спектрометрия [3, 6]. Получена е оригинална зависимост, позволяваща определянето на състава на термично изпарени SiO_x слоеве въз основа на позицията на основния максимум в инфрачервеното им поглъщане [32].

- **Изучаване на условията за фазово разделяне в получените слоеве**

Намерени са подходящи условия на термично третиране на тези слоеве, при което се израстват аморфни или кристални Si наночастици, съответно в матрица от SiO_x или SiO_2 . С инфрачервена абсорбционна спектрометрия и с Раманово разсейване е доказано

наличието на фазово разделяне след отгряване в инертна атмосфера [3, 5, 6]. Изследвано е фазовото разделяне в SiO_x ($x=1.5$ и 1.7), предизвикано от конвенционално или бързо термично отгряване при 500°C и 700°C за различно време $t \leq 60$ min. Наблюдаваните промени в спектрите са интерпретирани в рамките на уплътняване на слоевете при пониската температура и непълно фазово разделяне, по-силно застъпено в образците, отгрити при 700°C за по-големи времена. За слоевете, отгрити с бързо термично отгряване във вакуум, резултатите предполагат наличие на дефекти, образувани от намаленото кислородно съдържание на матрицата вследствие на емисия на кислород по време на отгряването [11]. Установено е, че при 1030°C фазовото разделяне е завършило напълно и матрицата е SiO_2 [6]. Рамановите спектри потвърждават присъствието на аморфна фаза от силиций в слоевете, отгрити при температури между 400 и 700° , индиректно доказателство за присъствието на аморфни наночастици [5, 6, 32] и нанокристална в тези, отгрити при температури $\geq 1000^\circ\text{C}$ [5, 6].

- **Изследване на получените кристални наночастици**

Наличието на равномерно разпределени нанокристали в слоевете, отгрити при температури $\geq 1000^\circ\text{C}$ е директно доказано с високоразделителна електронна микроскопия [6]. Израстнатите при отгряването нанокристали, с размери от $2,6$ nm до $5,3$ nm в зависимост от първоначалното кислородно съдържание на слоевете и температурата на отгряване, са равномерно разпределени в матрицата – стехиометричен SiO_2 [24]. Направено е систематично изследване на връзката на кислородното съдържание на слоевете и параметрите на отгряване с формата, размера, гъстотата и размерното разпределение на получените нанокристали [5, 7, 32]. Установено е, че с намаляване на първоначалното кислородно съдържание на слоевете, при еднакви други условия, размерът, гъстотата и отклонението от средния размер на нанокристалите се увеличават. При едно и също кислородно съдържание, с увеличаване на температурата на отгряване, размерът на нанокристалите нараства, а гъстотата им намалява [32]. Показано е още, че нанокристалите са разположени в близост до нанокристалната силициева подложка, но на разстояние $3-4$ nm от нея, каквато е дебелината на интерфейсия SiO_x слой. Микроскопските изследвания доказват още нарастване на интерфейсия слой от SiO_x при отгряване при 1000°C , резултат, важен за приложението им в микроелектрониката [24]. Направените AFM измервания проследяват промените в повърхността на слоевете след отгряване при 1000°C [23].

2. Фотолуминесценция

Както е известно, обемният Si е полупроводник с непряка забранена зона и не показва фотолуминесценция; излъчвателна рекомбинация при стайна температура може да бъде наблюдавана само в силициеви частици, чийто размери поне в едно направление са по-малки от Боровият радиус на свободния екситон (~ 5 nm) на обемния Si. Ето защо, фотолуминесценцията може да се използва като индиректно средство за доказване на наличието и изучаване на Si наночастици.

Наблюдавана е интензивна фотолуминесценция при стайна температура както от Si нанокристали, така и от аморфни Si нанокластери.

- **Si нанокристали**

Изследвано е влиянието на температурата, изходното кислородно съдържание на слоя и атмосферата на отгряване върху позицията и интензитета на получената фотолуминесценция [5, 7]. Наблюдавана е само една ивица, преместваща се от 1,45 eV до 2 eV с намаляване на размера на нанокристалите. Направено е заключение, че фотолуминесценцията е свързана с междузонна рекомбинация в нанокристали с размер > 2.5 nm, а при по-малки нанокристали - с рекомбинация през локализиран състояние на интерфейса Si-SiO₂ [5].

- **Аморфни Si нанокластери**

При един и същи изходен състав и време на отгряване, в слоевете, съдържащи аморфни Si нанокластери, е получена по-интензивна фотолуминесценция (видима с просто око в затъмнена стая) от тази в Si нанокристали [5].

Направено е системно изследване на влиянието на времето [14], температурата [8] на отгряване и дължината на вълната на възбуждащата светлина [15] върху спектъра и интензитета на фотолуминесценцията в слоеве, съдържащи аморфни силициеви нанокластери. Намерени са оптимални времена за получаване на фотолуминесценция с максимален интензитет в слоеве с различно кислородно съдържание.

В слоевете, съдържащи a-Si наночастици са наблюдавани 2 ивици при облъчване със светлина с дължина на вълната 488 nm – едната (при 1.7 – 2.1 eV) е приписана на рекомбинация в наночастиците (междузонна или на носители в опашкови състояния на зоните), а втората (при ~ 2.3 eV) - на рекомбинация през дефекти на интерфейса Si-SiO_x [8, 14]. Допълнителна ивица при 2,5 eV, дължаща се на рекомбинация през дефектни състояния в SiO_x матрицата се наблюдава в спектрите, получени след облъчване с 442 nm линия на He-Cd лазер [15]. Проведените температурни изследвания на фотолуминесценцията потвърждават тези заключения и показват, че при аморфните наночастици междузонната рекомбинация доминира при размери ≤ 2 nm, а при по-големи размери доминираща е рекомбинацията през опашкови състояния [29].

3. Електрични свойства

Възможността за реализиране на ефективни електролуминесцентни устройства и електронни паметни с използване на силициеви нанокристали в SiO₂ матрица изисква познаване на електрическите свойства на структурите, съдържащи наноразмерен силиций.

В тази връзка са направени електрични (волт-амперни характеристики и зависимост на тъмновата проводимост от температурата) и фотоелектрични измервания на Al/изолатор/Si (МИС) структури, в които изолаторния слой е дебел 1 μ m SiO₂ слой, съдържащ Si нанокристали. Направено е заключение, че силициевите нанокристали не участват директно в транспорта на токови носители в Si/SiO₂ слоя, но повлияват транспортните свойства на матрицата посредством повишаване на нивото на безпорядък в нея [9]. Фотоелектричните измервания показват, че фототока в структурите се дължи на фотогенерирани носители както от кристалната Si подложка, така и от Si нанокристали [10]. При право включване е наблюдавана отрицателна фотопроводимост при относително ниски и положителна фотопроводимост при по-високи приложени полета. Отрицателната фотопроводимост е свързана с положително зареждане на наночастици близо до интерфейса c-Si/SiO_x, които при сравнително ниски полета препятстват инжекцията на дупки от подложката. Промяната към положителна фотопроводимост е

приписана на преодоляване на задръжката на инжекцията поради достатъчно високи стойности на външното поле [20].

Изследвани са волт-капацитивни и волт-проводимостни характеристики на МИС структури с тънък 15 nm Si-SiO₂ слой с и без отделно отложен тунелен слой [18, 23, 24]. Наблюдаван е ефект на памет [18, 23, 24, 27, 31] при всички структури, като ефектът е най-силен при структурите върху n-Si подложки без специално отложен тунелен слой. Доказано е, че ефектът на памет се дължи на залавяне на заряди в силициевите наночастици. Показано е, че в структурите, отгreti при 700°C интерфейсет с-Si/диелектричен слой е по-добър отколкото при структурите, отгreti при 1000°C. Установено е, че времето на задръжане на заловения заряд е много по-дълго и концентрацията на дефекти на интерфейса подложка-диелектрик е по-ниска при МИС структурите, съдържащи аморфни наночастици. Тези резултати дават основание за предпочитане на структурите, съдържащи аморфни наночастици при изготвяне на постоянни паметни. Показано е, че различието в началния състав на SiO_x слоевете води до различия в поведението на структурите и този факт може да се използва за разработване на структури, които да се зареждат с малки приложени напрежения и да имат добри характеристики на съхранение на заряда. [18, 23, 24, 27, 31].

Описаните в т. I резултати са представени в 18 статии [3, 5-9, 11, 14, 15, 18, 20, 23, 24, 27, 29], които са цитирани 153 пъти и 2 глави от книги [10, 30]. Представени са 17 устни и постерни доклади на конференции в страната и чужбина. Въз основа на тях е защитен български патент [31]. Шест от публикациите [3, 5-9] са използвани в дисертация за получаване на образователната и научна степен „доктор” на тема: „Силициеви наночастици в термично отложени слоеве от SiO_x”, цитирана 4 пъти. Изследванията са обект на два проекта с НФНИ (Ф1306 и НТ-04-01), един с ДААД (Д-01-78) и два договора за междуакадемичен обмен с колеги от Сръбската академия на науките и изкуствата.

II. Получаване и характеризирание на наноструктурирани халкогенидни слоеве

1. Тънки нанокристални слоеве от ZnSe и Zn_xCd_{1-x}Se

Получени са тънки слоеве от ZnSe посредством термично изпарение във вакуум. Използван е стъпков подход, при който подложките се въртят със скорост 8 оборота в минута, прекарвайки 1/12 от оборота над източника на ZnSe. Така полученият слой (с обща дебелина между 30 nm и 1 μm) е изграден от подслоеве с дебелина около 1 nm [21].

Направено е изследване на структурата и оптичните свойства на слоеве от ZnSe с Раманово разсейване, AFM и елипсометрия. В слоевете, по тънки от 100 nm е установено, че при тези дебелини те съдържат както кристална фаза със случайна ориентация на зърната, така и аморфна фаза [21, 22]. Направени са заключения за увеличаване на обемната фракция от α-ZnSe с намаляване на дебелината на слоя [22] и за деформация на кристалната решетка в нанокристалите [21]. Наблюдавано е нарастване на кристалната фаза при увеличаване на мощността на облъчването с 488 nm линия на Ar⁺ лазер [21]. AFM данни показват, че свежите слоеве не са поръозни и са с висока гладкост.

Структурната релаксация с времето предизвиква увеличаване на грапавостта и порьозността на слоевете. [22].

Атомно-силова микроскопия, както и XRD и спектри на поглъщане са използвани при характеризирането на химически получени нанокристали от ZnSe, формиращи тънък слой. Изследванията показват, че слоевете са равномерни, с размери на зърната под 10 nm и със сравнително високо ниво на структурен безпорядък [26].

Изследвани са композиционния състав и структурата на слоеве от $Zn_xCd_{1-x}Se$ с различен, контролиран състав. За характеризиране на слоевете са използвани Раманово разсейване, EDS и AFM. Рамановите изследвания показват кристална структура и липса на чиста фаза от CdSe и ZnSe в слоевете, а от AFM данните е определено, че размерът на кристалните зърна в слоеве със значителна дебелина (400 nm) е под 20 nm [28].

2. Многослойни структури от ZnSe/SiO_x

Проведено е структурно, оптично и електрично характеризиране на многослойни структури от ZnSe/SiO_x. Чрез спектрални измервания на фототока и Раманово разсейване е показано, че оптичната ширина на забранената зона на ZnSe нараства с намаляване на дебелината на слоевете в многослойната структура [16, 17]. Направено е сравнение на експериментални и симулирани спектри на Раманово разсейване в многослойните структури от ZnSe/SiO_x. То потвърждава предположението за локализация на зарядови носители и фонони в слоевете от ZnSe и показва наличие на повърхностни моди [16].

3. Многослойни структури и композитни слоеве от ZnSe/CdSe

Използвана е оригинална техника за получаване на композитни слоеве, съдържащи нанокристали от CdSe, която е базирана на отлагане на многослойни структури от редуващи се два вида слоеве със съотношение на дебелините 1:20, като по-дебелите слоеве (на ZnSe) се получават без прекъсване на отлагането (стандартно отлагане), а тънките - чрез стъпково отлагане. При това се формират самоасемблирани нанокристали от CdSe с размери 3-8 nm, вградени в матрица от ZnSe. Получени са и многослойни структури от ZnSe/CdSe с изкуствена периодичност посредством последователно стъпково отлагане на слоеве с еднаква дебелина (2,5 – 10 nm) от двата материала, при което нанокристалите се формират върху гладката (с амплитуда на грапавост 1-2 nm) повърхност на матричния материал [2, 4].

Изследвани са оптичните спектри на ZnSe/CdSe многослойни структури. В получените по фотоелектричен път спектри на поглъщане е наблюдавана фина структура при енергии, по-големи от ширината на забранената зона, което доказва наличие на размерно квантуване на електронните състояния в нанокристалите и увеличаване на оптичната ширина на забранената зона с намаляване на размера им [4].

С Раманово разсейване са изследвани композитни слоеве и многослойни структури от ZnSe/CdSe. В получените спектри, освен пиковете на двата основни материала, са наблюдавани и пикове, характерни за нееластично разсейване на светлината в $Zn_xCd_{1-x}Se$. Направено е заключение за сплавяване на CdSe с матричния материал. То е по-силно изразено при композитните слоеве и е свързано с лесното заместване на Zn и Cd и формиране на обща подрешетка на металните атоми. При термично третиране ($T = 300^\circ C$) дебелината на сплавения интерфейсен слой в тези многослойни структури и композитни слоеве се увеличава, което дава основание за заключение, че при най-малките размери на

нанокристалите в композитните слоеве подходящо термично третиране може да доведе до формиране на нанокристали от ZnCdSe в матрица от ZnSe [2].

Включените в т. II резултати са представени в 7 статии [2,16, 17, 21 ,22, 26, 28], които са цитирани 5 пъти и 1 глава от книга [4]. Представени са 7 устни и постерни доклади на конференции в страната и чужбина. Изследванията са плод на съвместно сътрудничество с колеги от Великобритания (Royal Society grant), Сърбия (договор за междуакадемичен обмен със Сръбската академия на науките и изкуствата) и Македония (съвместно финансиран проект от МОН на Македония и България) и допълнително финансирани от НФНИ (Ф1306 и МДУ-03-91).

СЪЗДАВАНЕ И ХАРАКТЕРИЗИРАНЕ НА НОВИ СТРУКТУРИ

- **Патент за изобретение № 65971/09.09.2010 „Метал-изолатор-силиций структури, съдържащи силициеви наночастици и метод за производството им”.** Предложен е нов подход и е защитен български патент за изготвяне на метал-изолатор-силиций (МИС) структури от типа Al/c-Si/на(нк)-Si-SiO_x/SiO₂/Al, подходящи за електронни паметни, в които върху подложката от кристален n- или p-Si не е отложен стандартно отлаганият от другите изследователи тунелен слой от SiO₂. С този подход са намалени броя на процесите и енергоемкостта, необходими за изготвяне на структурата. Тунелният слой се формира по време на отгряване на структурите, едновременно с израстването на силициевите наночастици [31].

- **Интегриран оптичен сензор за микропозициониране**

Посредством планарна Si технология е създаден нов тип сензор, предназначен за приложение в микророботиката. Сензорът е създаден с цел да установи позицията на обект в обхват от 0-300µm. Структурата му е основана на полимерен оптичен вълновод (SU8 – стандартен негативен фоторезист), разделен на три „лъча”, интегриран с многоелементен фотодетектор върху Si подложка. Всеки елемент от фотодетектора е метал-полупроводник-метал (МСМ) фотодиод с Ti/Al Шотки електроди. Оптималните параметри на вълновода, на фотодетектора и на взаимодействието между тях бяха изчислени посредством симулации, използвайки Opti FDTD софтуер. Получената структура е наблюдавана със СЕМ и е характеризирана с електрични измервания (волт-амперни характеристики на МСМ структурата) [12].

- **Ti/Al Омови контакти за суб-микронни устройства**

Посредством електричните модове на сканиращия сондов микроскоп – Електростатична силова микроскопия (EFM) и Повърхностен потенциал (SP) (или Келвинова сонда) са изследвани електричните свойства на многослойни Омови контакти на основата на Ti/Al с два типа на бариерния слой – Ti и Mo, предназначени за НЕМТ (high electron mobility transistors) на базата на GaN/AlGaN. Показано е, че съпротивлението на контакта зависи главно от съотношението Ti/Al, като увеличаването му води до увеличаване на съпротивлението на контакта. Установено е, че Ti/Al/Ti/Au композиция с отношение Ti/Al = 0.43 показват най-ниско контактно съпротивление и най-малки вариации в SP сигнала. Морфологията на повърхността и повърхностния потенциал

зависят силно от вида на бариерния слой, при едно и също съотношение Ti/Al. Контактите със същото съотношение на Ti/Al и Mo бариерен слой показват по-добра морфология на повърхността, но лоши електрични свойства, което се обяснява с по-ефективната роля на Mo слой като бариера за вертикалната дифузия на метали по време на отгряване [25].

- **Кантиливри за приложение в биосензориката**

С използване на планарна Si технология са проектирани и създадени редици от SiO₂ кантиливри с дебелина 1,2 μm, дължина 150 μm и 80 μm широчина с разстояние между тях 140 μm. Кантиливрите са покрити само от горната страна с Cr/Au, за да позволят на тиолната група (-SH) на отложените биокomпоненти да формира подреден монослой, който да захване рецептора. Отложени са три различни биохимични вещества. Повърхността на кантиливрите, както и тяхното огъване са изследвани с AFM и SEM. В зависимост от отложеното вещество, е наблюдавано огъване в двете посоки между 2 и 9 μm. Не е забелязан „ефект на арката“. Изчислени са повърхностните напрежения, причинени от отложените вещества – между 12 и 60.4 MPa посредством софтуер за симулации CoventorWare. Направено е заключение, че създадените кантиливри са достатъчно чувствителни и гъвкави и могат да бъдат използвани за биохимични приложения [13].

Изследван е ZnO като подходящ материал за биосъвместим интерфейс между кантиливъра и биологичния елемент. Използвайки правотоково магнетронно разпрашване са отложени тънки ZnO слоеве с различна дебелина и техните морфологични и механични свойства са анализирани с използването на AFM, XRD, ХТЕМ и наноиндентация. Установено е, че слоевете имат наноструктурирана грануларна повърхност, подходяща за свързване на биоматериали, докато тяхната грапавост остава много ниска дори при дебелина на слоя около 1 μm. Наномеханичното характеризиране на тези структури на тъмно и по време на сравнително слабо UV облъчване разкрива възможно приложение на покритието върху кантиливри за сензори, използвайки фотопластичността като контролен механизъм за напрежение и огъване след отлагане. Наблюдаваният позитивен и напълно обратим фотопластичен ефект, причинен от облъчването с UV светлина показва увеличаване на твърдостта до 25%. Фотопластичният ефект причинява отместване на резонансната честота чрез промяна на константата на пружината на кантиливъра и нарастване на чувствителността към детекция на малка маса. Напрежението на повърхността на кантиливъра, причинено от ZnO слоя е оценено с CoventorWare програма за симулации. Експериментално е наблюдавано теоретично предсказаното негативно остатъчно напрежение на кантиливъра. Показано е, че покритието от ZnO играе двойна роля – осигурява биосъвместим интерфейс между кантиливъра и биологичния елемент и повишава чувствителността на кантиливъра към малки количества вещество. Високата чувствителност на кантиливрите ги прави подходящи за приложение в биосензориката и като газови сензори [19].

Получените резултати са представени в 4 статии [12, 13, 19, 25], които са цитирани 2 пъти и 1 патент. Представени са 2 устни и 2 постерни доклади на международни конференции. Изследванията, представени в статии № 12, 13, 19 са в рамките на международно сътрудничество по проект EU FP6 Marie Curie MRTN CT 2003-504826 ASSEMIC .