

АВТОРСКА СПРАВКА ЗА НАУЧНИТЕ ПРИНОСИ

на гл. ас. д-р Цветан Емилов Иванов

ТВОРЧЕСКА БИОГРАФИЯ:

Образование:

2014 г. Образователна и научна степен „доктор” професионално направление 4.1.Физика, научна 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: “Електрофизични изследвания на тънки слоеве SiO₂ израснати върху поликристален силиций и на полиметилметакрилат, обработени с йонна имплантация за приложение в широкоплощната микроелектроника”.

Научни консултанти: доц. д-р Валентин Георгиев,
доц. д-р Георги Хаджихристов

1981 – 1986 Пловдивски Университет “Паисий Хилендарски”, Физически Факултет, специалност “Твърдотелна електроника и оптоелектроника”.

Тема на дипломната работа: „Автоматизирана микропроцесорна система за контрол на честотомери”.

Ръководител: доц. д-р Антон Петров

1976 - 1979 Средно образование, Национална математическа гимназия “Акад. Л. Чакалов” – София, паралелка по физика.

Работа:

1995 – 2018 г. – последователно: физик, н.с.ІІІ ст., н.с. ІІ ст., н.с. І ст.; сега - главен асистент, д-р, в Лаборатория “Физически проблеми на микроелектрониката”, ИФТТ-БАН.

1991 – 1995 г. – гл. специалист в “Национален център по метрология”, Комитет по стандартизация и метрология.

1987 – 1991 г. – физик, Физически Факултет, СУ “Св. Климент Охридски”; катедра „Физика на твърдото тяло и микроелектроника“ .

Участие в договори - общо 15:

МОН-ФНИ – 8, двустранни – 2, европейски - 2, за обмяна на учени - 3

Договори с МОН-ФНИ

- 1. дог. Ф243** – „Физика на повърхността на тънки полупроводникови окисни слоеве“ (1992 – 1995 г.).
- 2. дог. Ф337** – „Физика на тънки слоеве от поликристален силиций“ (1993 – 1996 г.).
- 3. дог. Ф555** – „Физика на сензорни ефекти (детектиране на газове) в микроелектронни FET структури с проводящ окисен гейт“ (1995-1999г.).
- 4. дог. Ф-708** - “Явления на тунелна инжекция и емисия на горещи електрони в полислиций в тънкослойната система силициев двуокис/полисилиций”, (1997-2001 г.).
- 5. дог. Ф-1101** – “Сензорни ефекти в тънки металоокисни слоеве с практическо приложение”, (2001 – 2005 г.).
- 6. дог. Ф1504** - „Изследване на електронните състояния в аморфен силиций и материали на негова основа” (2005 – 2010 г.).
- 7. дог. NT-04** - Многослойни структури и нанокomпозитни материали за приложения в електрониката (2005 – 2010 г.).
- 8. Модул NT-04 - 1:** Многослойни структури, включващи силициеви наночастици, подходящи за направа на електронни памети и едноелектронни устройства (2006 – 2010 г.).

Международни двустранни - 2

- 1. Greece-Bulgaria** ~Contract No. 9513514, 1998 – 2000 г.
- 2. Swiss National Science Foundation** — Project No IB7420-110981/1 “Southern Nanoengineering Network” (SONNET), 2005 – 2007 г.

Европейски

1. INERA “Research and Innovation Capacity Strengthening of ISSP-BAS in Multifunctional Nanostructures”, 2013 – 2017 г.
2. “Обновяване на технологично оборудване и апаратура за иновативни научно-приложни разработки на многослойни оптични структури”, Оперативна Програма „Развитие на конкурентноспособността на Българската Икономика“, 2007 – 2013 г., продължителност 18 месеца.

Участие в договори за обмяна на учени:

1. "Елементи на надеждност и радиационна устойчивост на многослойни структури на основата на HfO_2 за приложение в енерго-независими паметя", със Сърбия.
2. „Захват и съхранение на заряд в метал-окис-high-k диелектрик-SiO₂-силиций (MOHOS) структури за приложение в енергонезависими паметя”, с Македония (приключил).
3. "Многослойни структури от диелектрици с висока диелектрична проницаемост (high-k) на основата на $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HfO}_2$ за приложение в енергонезависими паметя", с Полша:

Участие в конференции (общо 10):

1. V.K.Gueorguiev, **Tz. E. Ivanov**, L.I.Popova and S.K.Andreev, Gate oxide conductivity of polysilicon thin film transistors, 20th International conference on Microelectronics MIEL95, Nis, Serbia, 12-14 September, 1995.
2. I.Zhivkov, E.Spasoova, S.Andreev, L.Popova, **Tz.Ivanov** and G.Danev, Conductivity of vacuum deposited copper phtalocyanine thin films in different gas ambients , 10th . ICSMP, Thin Film Materials and Devices-Developments in Science and Technology, 1-4 September, 1998.
3. S.Andreev, L.Popova, V.Gueorguiev, **Tz.Ivanov** and G.Beshkov, The influence of RTA on the sensitivity of SnO₂ layers, 10th . ICSMP, Thin Film Materials and Devices-Developments in Science and Technology, 1-4 September, 1998.
4. F.V.Farmakis, J.Brini, G.Kamarinos, C.A.Dimitriadis, V.K Gueorguiev, Tz.E . Ivanov, Electrical stress in n- and p-channel undoped-hydrogenated polysilicon thin film transistors (TFTS), International Semiconductor Conference, CAS '99, 5 October 1999, Sinaia, Romania.

5. V.K.Gueorguiev, **Tz.E.Ivanov**, C.A.Dimitriadis, S.K.Andreev and L.I.Popova, Oxide field enhancement time dependent dielectric breakdown of hydrogen implanted polyoxides, 11th ISCMP, Materials for Information Technology in the New Millennium , Varna Sept. 3-8, 2000.
6. P. V.Aleksandrova, V. K.Gueorguiev, **Tz. E.Ivanov** and J. B.Koprinarova, Electrical and Polarization Properties of Nano-Sized ZrO₂ on Polycrystalline Silicon, Nato Advanced Study Institute on Functional Properties of Nanostructures Materials, Sozopol Bulgaria, 3-15 June 2005.
7. Hadjichristov, B., Gueorguiev, K., **Ivanov, Tz.E.**, Marinov, G., Ivanov, G., Faulques, E., Electrical properties of PMMA ion-implanted with low-energy Si⁺ beam, Third International Workshop & Summer School on Plasma Physics, 30 June - 5 July 2008, Kiten, Bulgaria.
8. P. Dankov, P. Stefanov, V. Gueorguiev and **Tz. Ivanov**, Hairpin-resonator probe design and measurement consideration, Third International Workshop & Summer School on Plasma Physics, 30 June - 5 July 2008, Kiten, Bulgaria.
9. G. B. Hadjichristov, **Tz. E. Ivanov**, Y. G. Marinov, Silicon-ion-implanted PMMA with nanostructured ultrathin layers for plastic electronics, 18th International School on Condensed Matter Physics (ISCMP), Challenges of Nanoscale Science: Theory, Materials, Applications, September 1st – September 6th, 2014, Varna, Bulgaria
10. D Spassov, A Paskaleva, K Fröhlich and **Tz Ivanov**, Effect of oxygen concentration and metal electrode on the resistive switching in MIM capacitors with transition metal oxides, 19th International School on Condensed Matter Physics. (ISCMP), Advances in Nanostructured Condensed Matter: Research and Innovations, 28 August – 2 September, 2016, Varna, Bulgaria.

Брой публикации представени за участие в конкурса (с Автореферат) 41
Общ брой цитати – 232
Общ брой публикации (без Автореферат) – 43

**Основни научни резултати и приноси в публикациите
на гл. ас. д-р Цветан Емилов Иванов**

1) *Електрофизични изследвания на полисилициеви тънкослойни транзистори (Thin Film Transistors - TFTs).*

Изследванията са извършени чрез измерване на проводимостта с волтамперни (I-V) характеристики и чрез нискочестотни шумови измервания. Получени са следните резултати: основните механизми на проводимост се дължат на термична генерация при ниски електрични полета и механизъм на проводимост на Poole – Frenkel и термойонна емисия при високи полета. Утечният ток (в off състояние) е свързан с уловките, намиращи се в обема на полисилиция и при интерфейса гейтов окис/полисилиций. Анализът на утечния ток чрез нискочестотни шумови измервания показва, че дълбоките нива с еднородно разпределение в забранената зона на силиция са основните фактори, определящи утечния ток. Експерименталните данни показват наличие на експоненциални опашки в зоните. Изследвана е деградацията на TFTs, като те са подлагани на различни видове стрес. След това са направени шумови измервания на утечните токове и е определена връзката на утечните токове и състоянията в забранената зона, причинени от генерираните дефекти.

Работата в това направление е отразена в 8 статии № 5, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 19, публикувани в Journal of Applied Physics, Electronics Letters, IEEE Trans. El. Dev., Solid state Electronics, Microelectronics Reliability, Applied Physics Letters.

2) *Електрофизични изследвания на утечни токове през окиси от SiO₂ израснати върху полисилиций (полиокиси).*

Тези изследвания са осъществени чрез измервания на волтамперни характеристики на полиокиси. Изследвани са обикновени полиокиси и полиокиси при които е извършена йонна имплантация на полиокиса с цел намаляване на уловките на границата на зърната – хидрогенирани полиокиси. Най-важните получени резултати са: основният механизъм на проводимост през полиокиси е механизмът Fowler-Nordheim (FN тунелиране), като трябва да се вземе пред вид усилването на електрическото поле от неравностите на интерфейса полисилиций / полиокис. При процеса на протичане на тунелния ток се получава зареждане на първоначално неутрални уловки, намиращи се в окиса. Създадена е компютърна програма, чрез която от експерименталните характеристики могат да бъдат

определени вероятности за електронно захващане в уловки (electronic trapping probabilities) – величина, която се дефинира като произведение на обемната плътност на електронните уловки и тяхното сечение на захват. Моделирането на електрическата проводимост в слоеве SiO₂, израснати върху полисилиций, вземайки предвид FN тунелирането при усилено поле, дължащо се на интерфейсните неравности е полезен метод за оценяване електронните уловки в полиокисни слоеве. Използвайки тази методика, е показано че при хидрогенираните полиокиси, концентрацията на електронните уловки е по-голяма, а сечението им на захват е по-малко отколкото при нехидрогенираните полиокиси. Изследвани са също така ефектите на деградация на нехидрогенирани и хидригенирани полиокиси в тънкослойни транзистори при облъчване с поток от електрони с енергия 23 MeV, при различни дози (различно време на облъчване). Измерени са утечните токове през гейтовите окиси и трансферните характеристики на транзисторите. При нехидрогенираните полиокиси има нарастване на плътността на уловките и вероятностите за захващане при нарастване на дозата на облъчване, което е определено чрез утечните токове през гейта и нарастване на захванатия положителен заряд. Това се потвърждава от изместване на праговото напрежение. При хидрогенираните полиокиси имаме нарастване на заряда в окиса, но пък вероятността за захващане намалява, което вероятно се дължи на окисление на долния интерфейс при полиокиса.

Работата в това направление е отразена в 10 статии № 3, 4, 16, 18, 20, 21, 23, 25, 26, 27, публикувани в Vacuum, Microelectronics Journal, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Eur. Phys. Journal B, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. и в Proc MIEL95, Proc. 11th ISCMP, Varna 2000 „Jubilee Collection, 30th Anniversary ISSP 2000”.

3) Електрофизични изследвания на тънки слоеве циркониев окис като high-k диелектрик, отложени върху силиций

Изследвани са утечни токове в MIS (Metal-Isolator-Semiconductor) структури (кондензатори) Al/ZrO₂/SiO₂/n-Si. Доказано е, че механизмът на проводимостта е Poole-Frenkel, след направени температурни измервания на волтамперните характеристики.

Показано е също така че при тази структура се наблюдават поляризационни явления. Измерени са хистерезисни криви на зависимостта заряд/ електрично поле

при различни честоти и така е показано, че структурата притежава фероелектрични свойства.

В изследваните $ZrO_2/ZrSi_xO_y/SiO_x$ кондензатори е установено наличието на две компоненти на утечния ток. Токова компонента, дължаща се на тунелен ток при високи електрични полета и токова компонента при ниски полета, дължаща се на захващане на заряд (транзиентен ток). Измерените $I-t$ характеристики (ток в зависимост от времето, при приложено постоянно напрежение) се свързват с явления на зареждане, разреждане и диелектрична релаксация.

Работата в това направление е отразена в 3 статии: № 28, № 29 и № 32 - една статия в Eur. Phys. J. B, една статия публикувана в сборник от конференция в Springer, Nato Science Series и една в Thin Solid Films.

4) *Електрофизични изследвания на полеви ефект в органични полупроводникови структури от полиметилметакрилат, имплантирани със силициеви йони.*

Чрез йонна имплантация на силициеви йони при енергия 50 keV и дози в диапазона 10^{15} - 10^{16} ions/cm² е формиран проводим органичен наноматериал в полиметилметакрилат (PMMA). Установено е, че пространствената структура и електрическите свойства на имплантирания със силициеви йони Si⁺ PMMA позволяват постигането на полеви ефект. Установено е, че два слоя на йонно модифицирана подповърхностна област на полимера са отговорни за създаване на полеви ефект. Единият служи за гейтов диелектрик, а другият – работи като електронно транспортиращ (n-тип) активен полупроводник (канал). При електронно транспортиращия слой с 11 порядъка нараства DC проводимостта в сравнение с неимплантирания материал, което се дължи на формирана въглеродна нанокластърна структура в резултат на имплантацията. Полевиот ефект, установен в имплантирания със Si⁺ йони PMMA показва потенциала на този материал за приложение в органичната електроника.

Работата в това направление е отразена в статии № 31, 33, 34, 35, 39 публикувани в Organic Electronics, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Journal of Ovonic Research, Journal of Physics: Conference Series.

5) *Електрофизични и структурни изследвания на тънки слоеве от калаен двуокис и меден фталоцианин за приложение в газови сензори.*

Използуван е процес на бързо термично отгряване (Rapid Thermal Annealing, RTA), за да се подобри чувствителността на амонячни сензори, базирани на MOSFET структура с тънък калаен двуокис (SnO_2) като гейт. Установено е че при процес на бързо термично отгряване при 800 °C с продължителност 60 секунди се подобрява чувствителността към амоняка. Това подобрение е обяснено с промените на повърхността на слоя от калаен двуокис, предизвикани от RTA процеса.

Показано е, че слоевете от вакуумно отложен меден фталоцианин са поликристални със зърнеста структура, като размерите на зърната зависят от технологичните условия на нанасянето им: скорост, ъгъл на отлагане и отгряване. Изследвана е проводимостта на тъмно и фотопроводимостта на тези слоеве в атмосфера от аргон, азот, кислород и фреон 22. Установено е, че адсорбцията на различните газове засяга по различен начин проводимостта на тъмно и фотопроводимостта. Това може да бъде използвано за да се подобрят свойствата на газови сензори.

Работата в това направление е отразена съответно в статии № 22, 12, 6, 13 публикувани в Material Science and Engineering B, Vacuum и в Proc.10th ICSMP, 1998, Varna.

6) *Електрофизични и структурни изследвания на слоеве от аморфен силиций и нанослоеви от алуминиев нитрид.*

Изследвани са промените в морфологията, структурата и електрическите свойства на тънки слоеве от аморфен силиций, отложени върху SiO_2 чрез химично отлагане от газова фаза и подложени на въздействие на бързо термично отгряване. Слоевете са отгряти при 1200 °C, за 2 минути и променят своята структура в поликристална. В резултат на това намалява тяхното съпротивление с 4 порядъка. Поради малката дебелина на отложения аморфен силиций, полученият полисилиций има много дефекти и прекъсвания в структурата, поради което се налага по нататъшна оптимизация на процеса на отгряване, за да бъдат получени хомогенни слоеве.

Представени са резултати от изследванията на морфологията, структурата и електрическите свойства на нанослоеви от алуминиев нитрид (AlN), отложени върху сапфир и подложени на въздействие при бързо термично отгряване.

Вакуумно са отложени алуминиеви слоеве с дебелина 600 nm върху сапфир. Те са подложени на въздействието на RTA в амонячна атмосфера (NH_3) при различни температури от 400 до 1000 °C за периоди от време 15–300 s. След RTA въздействието се наблюдават промени в листовото съпротивление и формиране на слоеве с p-тип проводимост както и промени на морфологията на повърхността.

Изследвани са слоеве от алуминиев нитрид (AlN) върху силиций, получени във вакуум и в азотна атмосфера, чрез отлагане под въздействие на импулсен лазер. От направените изследвания с рентгенова спектроскопия е установено, че слоевете, отложени във вакуум са поликристални с хексагонална фаза и колонна структура, а тези отложени в азотна атмосфера са аморфни. Направени са изследвания с повърхностно усилена раманова спектроскопия и е установено че рамановите спектри са силно отместени поради напрежението в слоевете.

Работата в това направление е отразена съответно в статии № 24, 30, 38, публикувани в Materials Science Forum, Bulgarian Journal of Physics и Micro and Nanosystems.

7) Изследване ефекта на резистивно превключване в тънки слоеве танталов петоокис за приложение в енергонезависими паметни.

Показана е възможността за получаване паметни с резистивно превключване (resistive switching) с ON/OFF отношение над 100 в слоеве от танталов окис. Установено е, че ефекта на резистивно превключване е извънредно чувствителен към концентрацията на кислорода в диелектрика. За да се получи стабилен ефект са използвани стехиометрични танталови оксиди с оптимизирано отношение Ta/O. Установено е, че ниската концентрация на кислорода способства създаването на омова проводима нишка. Най-добри резултати са получени при слоеве, при които кислородната концентрация се променя от почти стехиометрична до обеднена.

Работата в това направление е отразена в статия № 40, публикувана в Journal of Physics: Conference Series.

8) *Изследване на галиев арсенид (GaAs) чрез спектроскопия на дълбоки нива (Deep Level Transient Spectroscopy, DLTS).*

Разработен е теоретичен модел за анализ на DLTS спектри на умерено легиран n-GaAs. Представен е оригинален алгоритъм за симулация на DLTS спектри с цел получаване на информация за микроскопичните свойства на неопределена система. Работата в това направление е отразена в статия №1, публикувана в Journal of Applied Physics.

9) *Моделиране на фотоволтаични клетки, базирани на широкозонни полупроводници.*

Разработен е едномерен аналитичен модел за описание на широкоплощни слънчеви елементи, основан на две допускания. Първото допускане е, че при широкозонни полупроводници концентрацията на свободни носители на тъмно може да се пренебрегне, а второто е че може да се приеме средно поле, напречно на всеки i -ти слой. Тогава I-V характеристиките на слънчевите клетки могат да бъдат симулирани с помощта на краен брой фундаментални параметри: интензитет на светлината, дифузионни дължини на електрони и дупки и коефициент на абсорбция. Работата в това направление е отразена в статия №37, публикувана в Journal of Optoelectronics and Advanced Materials.

10) *Изследване на платинови тънкослойни термометри.*

Изследвани са тънкослойни платинови термометри в областта от 77 до 300 K и е дадено математическо описание на връзката температура - съпротивление $T(R)$, чрез подходящи полиноми. Работата в това направление е отразена в статия №2, публикувана в Cryogenics.

11) *Оптимизиране на конструкцията на сонда за измерване на електронна концентрация в плазма.*

Конструирана е микрорезонаторна сонда за измерване на пространственото разпределение на електронната плътност в RF плазми. Използуван е софтуер Ansoft, за да се оцени влиянието на резонаторната структура на резонансната честота. Направена е оценка на много геометрични конструкции и е предложена една оптимална модификация. Работата в това направление е отразена в статия № 36, публикувана в Journal of Physics: Conference Series.