

УДК 621.38

DOI: 10.24160/1993-6982-2018-5-103-110

Подготовка инженеров на кафедре электроники и нанoeлектроники в XXI веке

И.Н. Мирошникова, А.И. Попов, А.М. Гуляев, Е.В. Зенова

Рассмотрены история развития электроники и роль кафедры электроники и нанoeлектроники в подготовке современных специалистов направления. Представлены основные научные направления школы кафедры в XXI веке.

Ключевые слова: электроника, нанoeлектроника, полупроводниковые приборы, алмазоподобные пленки, нанокompозиты, газовые сенсоры, полимерные композиционные материалы, средства ультразвукового неразрушающего контроля.

Для цитирования: Мирошникова И.Н., Попов А.И., Гуляев А.М., Зенова Е.В. Подготовка инженеров на кафедре электроники и нанoeлектроники в XXI веке // Вестник МЭИ. 2018. № 5. С. 103—110. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-5-103-110.

Training of Engineers at the Department of Electronics and Nanoelectronics in the XXI Century

I.N. Miroshnikova, A.I. Popov, A.M. Gulyaev, E.V. Zenova

The electronics development history and the role the Department of Electronics and Nanoelectronics plays in the training of specialists in this field are considered. The main fields of the Department's scholarship scientific activity conducted in the 21st century are presented.

Key words: electronics, nanoelectronics, semiconductor devices, diamond-like films, nanocomposites, gas sensors, polymer composites, ultrasonic nondestructive examination tools.

For citation: Miroshnikova I.N., Popov A.I., Gulyaev A.M., Zenova E.V. Training of Engineers at the Department of Electronics and Nanoelectronics in the XXI Century. MPEI Vestnik. 2018;5:103—110. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2018-5-103-110.

Информационные технологии и полупроводниковая электроника являются наиболее интенсивно развивающимися областями человеческой цивилизации. Начало практического применения полупроводниковых материалов относится к первой половине XX в. В 1900 — 1905 гг. изобретатель радио А.С. Попов для демодуляции сигнала в радиотелеграфии использовал точечный контакт металл–полупроводник. В 1927 г. были созданы меднозакисные, а затем селеновые выпрямители, а в 1937 г. — фотоприемные устройства на основе сульфида свинца. Во всех перечисленных приборах использовались поликристаллические полупроводниковые материалы.

Существенное влияние на развитие полупроводниковой электроники оказало создание в 1946 г. первой электронной вычислительной машины. С одной стороны, стали понятны широчайшие перспективы приме-

нения новой техники, а с другой — было очевидно, что на существующей в то время элементной базе (вакуумных лампах) сбыться им не суждено. Как результат, в 1947 г. был изобретен первый активный полупроводниковый прибор — точечный транзистор.

Вторая половина XX в. характеризуется переходом от поликристаллических к монокристаллическим полупроводникам, созданием плоскостного транзистора (1950 г.) и других активных полупроводниковых приборов, интегральных схем (1960 г.) и экспоненциальным ростом степени их интеграции в соответствии с законом Мура. Этот период можно назвать эрой микроэлектроники.

Начало XXI в. ознаменовалось переходом от микроэлектроники к нанoeлектронике. Размеры активных областей приборов снизились до 10 нм и менее. В 2009 г. произошло важное событие в области развития инфор-

мационных технологий: количество объединенных в сеть электронных приборов превысило население Земли. Причем это не только различные виды компьютеров и мобильных телефонов, но и сенсоры и предметы повседневного обихода. В 2015 г. количество объединенных в сеть приборов (25 млрд) уже превысило население Земли в 3,5 раза, а к 2020 г., по оценкам, увеличится еще вдвое (рис. 1). Это событие важно не только с точки зрения индустрии информационных технологий, но и с позиции развития человеческой цивилизации, поскольку электронные приборы из устройств, облегчающих жизнь, перешли в класс устройств, без которых развитие человеческой цивилизации невозможно. Новое место электронных систем требует иных подходов к проектированию и технологии приборов и расширения круга материалов, на основе которых они изготавливаются. Твердотельная электроника — динамическая область науки и техники, в которой размеры одних приборов уменьшаются, и микроэлектроника переходит в наноэлектронику, а размеры других приборов возрастают в расчете на огромные возрастающие токи, которые они пропускают. В технике ничего не исчезает. Все приборы имеют свою нишу. Но, главное, что ниша твердотельных полупроводниковых приборов стремительно увеличивается.

Цель настоящей работы — показать положение кафедры электроники и наноэлектроники (предыдущие названия: «Полупроводниковые приборы», «Полупроводниковая электроника») НИУ «МЭИ» в XXI в.

История научной деятельности кафедры электроники и наноэлектроники началась в 1950 — 1960-х гг. с тонкопленочных транзисторов, положенных в основу экранов телевизоров и смартфонов, тонкопленочных датчиков Холла для измерения магнитных полей в за-

зорах электрических машин. Физикой приборов на основе тонких пленок занимались профессора В.С. Солдатов, А.М. Гуляев (продолжает работу и в настоящее время) [1].

Основатель кафедры полупроводниковых приборов (название до 1998 г.) профессор К.В. Шалимова с самого начала определила основной вектор ее развития — изучение физики и технологии создания приборов. Работы самой К.В. Шалимовой, а также ее учебник по физике полупроводников, изданный не только на русском, но и на чешском и испанском языках, стали настольными для многих инженеров и разработчиков полупроводниковых приборов.

В 1970-х гг. XX в. под руководством доцентов А.К. Соловьева и Н.А. Чарыкова зародилось новое направление — компьютерное моделирование интегральных схем и силовых полупроводниковых приборов. Новые задачи нашли свое отражение и в названии кафедры — в 1998 г. она стала называться кафедрой полупроводниковой электроники.

Переход от микроэлектроники к наноэлектронике поставил новые задачи, как в области учебного процесса, так и в научной работе.

В 2011 г. вместе с переходом обучения на Федеральный государственный образовательный стандарт (3) появилась необходимость в постановке новых курсов: физики конденсированного состояния, наноэлектроники, физических основ электроники, и подготовки для них учебной и методической литературы [2 — 5].

В это время МЭИ стал Национальным исследовательским университетом, и кафедра получила средства для приобретения нового современного оборудования, используемого как в науке, так и при обучении студентов. Были оборудованы новые лаборатории по твердотельной



Рис. 1. Динамика роста «Интернета вещей», согласно данным компании Cisco

электронике, схемотехнике, физике конденсированного состояния (методам исследования полупроводниковых материалов), начато формирование кафедрального центра зондовых и оптических исследований, обновлена лаборатория электронной микроскопии.

Объединение кафедр полупроводниковой электроники и электронных приборов в 2014 г. потребовало смены названия: оно должно было отражать оба направления, так образовалась объединенная кафедра электроники и нанoeлектроники.

Расширилась область научных исследований, в последние годы к учебному процессу и исследованиям начали привлекаться ученые и специалисты из других стран (Бельгии, Словакии, Франции).

Для совершенствования качества подготовки специалистов созданы две базовые кафедры: нанотехнологий микроэлектроники (при сотрудничестве с Российской академией наук и институтом нанотехнологий микроэлектроники (ИНМЭ РАН)) (рис. 2, 3) и вакуумной электроники СВЧ (совместно с НПП «Торий»). Их основные задачи заключаются в интеграции образования, науки и производства как важнейшего условия повышения качества подготовки специалистов с высшим образованием, целевой подготовки кадров для эффективного решения проблемы обеспечения ИНМЭ РАН и НПП «Торий»



Рис. 2. В лаборатории ИНМЭ РАН профессор кафедры ЭиН Е.В. Зенова объясняет работу электронно-ионного сканирующего микроскопа



Рис. 3. В лаборатории ИНМЭ РАН аспирант кафедры ЭиН А.В. Коновалов рассматривает топологию интегральной схемы

высококвалифицированными специалистами, прямого участия предприятий в образовательной деятельности института путем вовлечения и эффективного использования в учебном процессе их интеллектуальных и материально-технических ресурсов, привлечения научно-педагогических работников к выполнению работ в интересах ИНМЭ РАН и НПО «Торий».

Производственная практика студентов проходит как на крупных предприятиях (ИНМЭ РАН, НПО «Торий», ОАО «Государственный завод «Пульсар»», НПО «Орион») так на более мелких (ООО «НПП «Цифровые решения», ЗАО НТЦ «Модуль»), где студенты обучаются разработке интегральных схем не только в системах проектирования Mentor Graphics IC Station, но и в Cadence Virtuoso.

Современное оснащение кафедры и взаимодействие с ведущими научными и производственными организациями и предприятиями дало толчок к развитию новых направлений исследований. Наряду с традиционными работами, связанными с физикой и материаловедением монокристаллических полупроводников, заложенными профессором Н.К. Морозовой и доцентом В.Н. Хириным [6 — 10], и приборов на их основе (профессор Т.Т. Мацаканов [11 — 16]), стали развиваться и другие направления.

Разработка и оптимизация параметров фотозелетрических приемников инфракрасного диапазона. Особое внимание в этой работе уделяется структуре полупроводниковых элементов приборов, что позволяет понять механизмы реакций, приводящих к изменению параметров приборов. Исследование фоторезисторов на основе поликристаллических пленок халькогенита свинца (рис. 4) позволили не только менять частотные

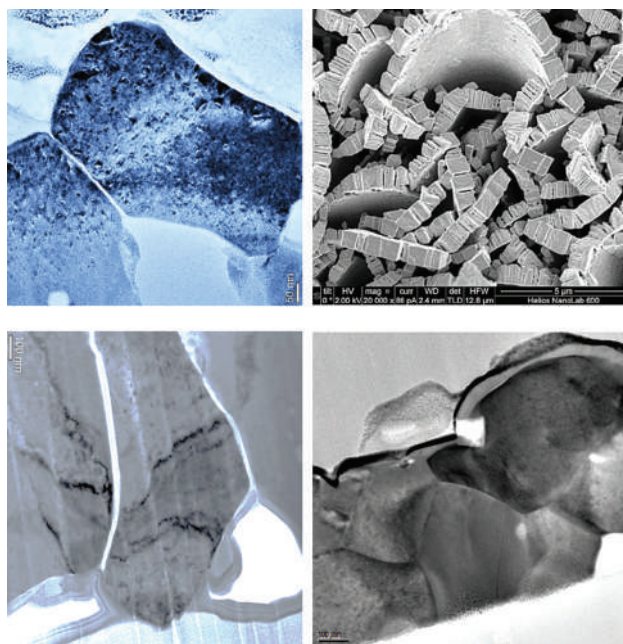


Рис. 4. Микрофотографии фоточувствительных элементов на основе халькогенидов свинца

характеристики приборов при малом изменении чувствительности фоторезисторов, но и понять природу этого явления [17 — 22].

Создание нового класса алмазоподобных защитных покрытий на основе аморфных кремний-углеродных пленок и нанокомпозитов на их основе. Данные материалы, сохраняя преимущества традиционных пленок алмазоподобного аморфного углерода, превосходят их по адгезии, диэлектрическим свойствам, достижимой толщине и коэффициенту трения. У них не наблюдается явления графитизации (уменьшения концентрации sp^3 - и роста концентрации sp^2 -связей при термообработке), практически нет зависимости свойств от влажности. Высокая стабильность аморфной фазы кремний-углеродных пленок позволяет вводить в них большое количество примесей и получать нанокомпозиты с концентрацией нанофазы от 0 до практически 100% (рис. 5). Это позволяет менять электропроводность материала на 16 порядков величины. Более того, управление распределением нанофазы в объеме пленки позволяет получать наноструктурированные образцы [23 — 26].

Разработка и создание сверхвысокочувствительных газовых сенсоров (рис. 6) [27, 28]. Проектирова-

ние и исследование ячеек интегральных схем нового класса энергонезависимой памяти — памяти на фазовых переходах. Запись, хранение и обработка информации — одно из важнейших условий развития цивилизации. В последние десятилетия ведущее место среди электронных носителей информации занимает энергонезависимая память на фазовых переходах, использующая эффекты аморфизации и кристаллизации локальной полупроводниковой области. Физическая основа метода заключается в существенном различии свойств двух фаз: кристаллической и аморфной. Проведенные на кафедре работы по анализу влияния конструкций ячеек интегральных схем (рис. 7) на термодинамические процессы при записи и перезаписи информации позволили сформулировать условия устойчивой и надежной работы данного вида памяти [29 — 31].

Отдельно следует отметить работы группы В.К. Качанова и И.В. Соколова, теперь уже межкафедральной (совместно с кафедрой основ радиотехники ИРЭ), организованной на кафедре электронных приборов еще в середине 1960-х гг. к.т.н., доцентом В.П. Аксеновым. Тематика научных исследований обусловлена тем, что в эти годы в оборонной отрасли (включая ракетно-

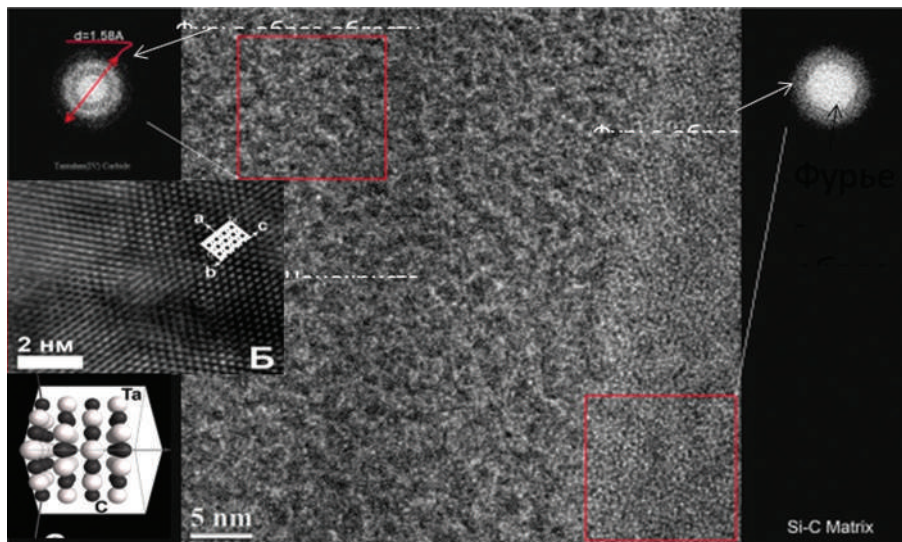


Рис. 5. Электронно-микроскопическое изображение высокого разрешения нанокомпозита на основе кремний-углеродной матрицы с нанокристаллами карбида тантала

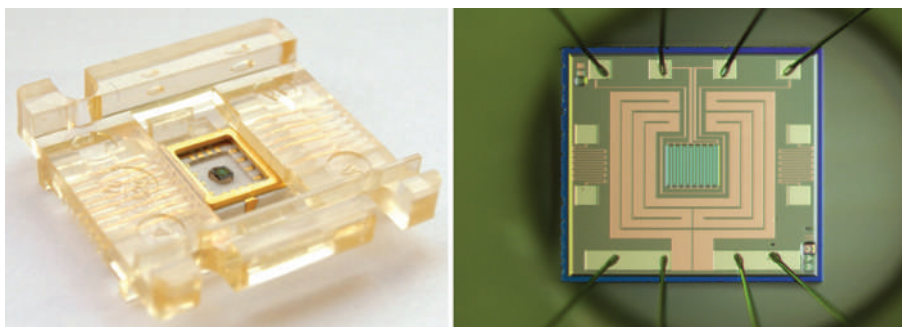


Рис. 6. Фотография сверхчувствительных газовых сенсоров, изготовленных совместно с АО «Российские космические системы»

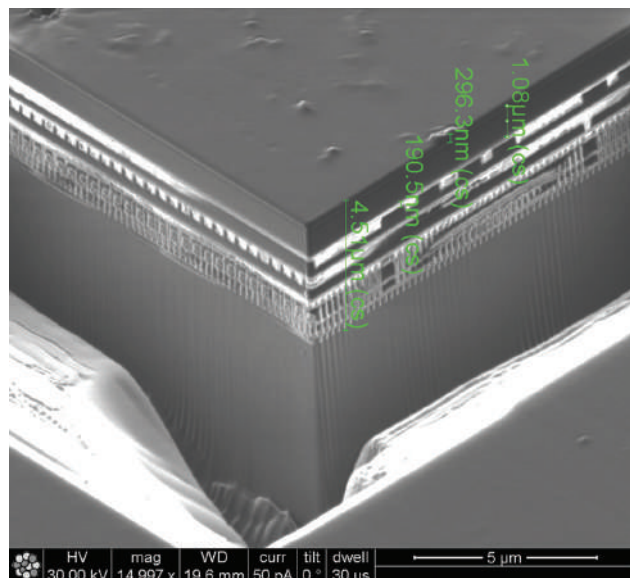


Рис. 7. Фрагмент чипа интегральной схемы энергонезависимой памяти на фазовых переходах

космическое и авиационное направления) создавалась отечественная промышленность полимерных композиционных материалов.

Особенности изделий из полимерных композиционных материалов обусловили необходимость проведения комплекса специальных исследований в акустике, радиотехнике, схемотехнике, компьютерной технике по созданию принципиально новых помехоустойчивых методов и средств ультразвукового (УЗ) неразрушающего контроля и диагностики сложноструктурных изделий. Фактически сложилось новое научное направление — помехоустойчивого УЗ-контроля, основанного на использовании достижений современной радиолокации, акустики, компьютерной техники [32 — 37].

Широкая гамма научных исследований обусловила интерес к проводимым работам не только в Российской Федерации, но и за рубежом. В последние годы успешно прошли обучение в аспирантуре и получили дипломы кандидатов наук специалисты из Эквадора, Вьетнама, Египта. Студенты, обучающиеся на кафедре, принимают участие в программе двойных дипломов с Лаппеенрантским техническим университетом (Финляндия) и техническим университетом Ильменау (Германия).

Сотрудники и аспиранты кафедры ЭиН, успешно защитившие кандидатские и (или) докторские диссертации: В.В. Блинов, О.Б. Сарач, И.Н. Мирошникова, И.Ю. Кукоев, И.С. Савинов, Д.А. Недоруба, А.В. Тигав, Д.Ю. Наместников, Н.Д. Данилевич, Е.М. Еганова, А.Л. Комиссаров, Ле Ван Ван, М.В. Орешков, К.Н. Егармин, А.В. Коновалов, Д.А. Зезин, М.Ю. Пресняков, В.М. Семенов, Е.В. Зенова, А.А. Канахин, Х.С.Х. Мохамед, Б.Н. Мирошников, А.Д. Баринов, И.В. Ирхин.

В год 60-летия факультета электронной техники НИУ «МЭИ» кафедра электроники и нанoeлектроники желает родному факультету дальнейших успехов в учебной и научной деятельности.

Литература

1. Гуляев А.М., Шнитников А.С. Влияние избытка компонентов на электрические свойства пленок антимонида индия // Физика и техника полупроводников. 2015. Т. 49. № 2. С. 214—218.
2. Морозова Н.К. Кристаллография и методы исследования структур. М.: Издат. дом МЭИ, 2008.
3. Попов А.И. Физика и технология неупорядоченных полупроводников. М.: Издат. дом МЭИ, 2008.
4. Воронков Э.Н., Гуляев А.М., Мирошникова И.Н., Чарыков Н.А. Твердотельная электроника. М.: Академия, 2009.
5. Воронков Э.Н. Твердотельная электроника. М.: Академия, 2010.
6. Morozova N., Danilevich N., Kanakhin A. Self-activated Luminescence Spectra of CdS(O) in the Context of the Band Anticrossing Model // Phys Stat Solidi. 2010. V. 7. No. 6. Pp. 1501—1503.
7. Морозова Н.К., Данилевич Н.Д., Олешко В.И., Вильчинская С.С. Особенности экситонных спектров монокристаллов CdS(O) // Изв. Вузов. Серия «Электроника». 2012. № 1 (93). С. 14—20.
8. Морозова Н.К., Данилевич Н.Д., Олешко В.И., Вильчинская С.С. Оптические свойства слоев CdS(O), ионно-легированных кислородом, с позиции теории антипересекающихся зон // ФТП. 2013. Т. 47. Вып. 8. С. 1014—1021.
9. Морозова Н.К., Галстян В.Г., Волков А.О., Мащенко В.Е. Оптические свойства ионно-легированных слоев ZnO(Se) с позиций теории антипересекающихся зон // ФТП. 2015. Т. 49. Вып. 9. С. 1169—1174.
10. Морозова Н.К., Мирошников Б.Н. Изoeлектронные центры кислорода и проводимость кристаллов CdS в сравнении с PbS // ФТП. 2018. Т. 52. Вып. 3. С. 295—298.
11. Мнацаканов Т.Т., Тандоев А.Г., Левинштейн М.Е., Юрков С.Н., Palmour J.W. Нарушение нейтральности и возникновение S-образной вольт-амперной характеристики при двойной инжекции в легированных полупроводниках // ФТП. 2013. Т. 47. № 3. С. 302—309.
12. Mnatsakanov T.T., Levinshtein M.E., Tandoev A.G., Yurkov S.N. Transport Phenomena in Intrinsic Semiconductors and Insulators at High Current Densities: Suppression of Broken Neutrality Drift // J. Appl. Phys. 2013. V. 114. No. 6. P. 064503.
13. Левинштейн М.Е. и др. Высоковольтный тиристор на основе карбида кремния с блокирующей базой n-типа // ФТП. 2016. Т. 50. № 3. С. 408—414.
14. Mnatsakanov T.T., Levinshtein M.E., Tandoev A.G., Yurkov S.N., Palmour J.W. Minority Carrier

Injection and Current-voltage Characteristics of Schottky Diodes at High Injection Level // *Solid-state Electronics*. 2016. V. 121. No. 7. Pp. 41—46.

15. **Юрков С.Н. и др.** Анализ влияния неоднородных эффектов на отпирающий ток управления тиристорных структур на основе 4H-SiC // *ФТП*. 2017. Т. 51. № 2. С. 234—239.

16. **Мнацаканов Т.Т., Тандоев А.Г., Левинштейн М.Е., Юрков С.Н.** Вольт-амперная характеристика диодов Шоттки при больших плотностях тока в условиях инжекции неосновных носителей // *ФТП*. 2017. Т. 51. № 8. С. 1125—1130.

17. **Мирошников Б.Н., Мирошникова И.Н., Мохамед Х.С.Х., Попов А.И.** Шум типа $1/f\alpha$ в фоточувствительных элементах на основе сульфида свинца // *Измерительная техника*. 2015. № 2. С. 37—40.

18. **Баринов А.Д. и др.** Использование современного оборудования для анализа тонкопленочных структур: успехи и проблемы // *Вестник МЭИ*. 2013. № 5. С. 129—132.

19. **Варлашов И.Б. и др.** Исследование фоточувствительных структур на основе PbS методом оже-электронной спектроскопии // *Вестник МЭИ*. 2015. № 2. С. 103—107.

20. **Mohamed H.S.H. et al.** Spectral Characteristics and Morphology of Nanostructured Pb-S-O Thin Films Synthesized Via Two Different Methods // *J. Materials Science in Semiconductor Proc.* 2014. V. 27. P. 725—732.

21. **Miroshnikov B.N., Miroshnikova I.N., Popov A.I., Zinchenko M.Y.** Polycrystalline and Nanocrystalline Photosensitive Layers Based on Lead Sulfide // *J. Nanoelectron and Optoelectron*. 2014. No. 9. Pp. 783—786.

22. **Мирошникова И.Н., Мирошников Б.Н., Попов А.И.** Оптимизация параметров поликристаллических фоторезисторов на основе PbS // *ФТП*. 2018. Вып. 2. С. 245—249.

23. **Попов А.И., Пресняков М.Ю., Шупегин М.Л., Васильев А.Л.** Наноструктурирование пленок металлосодержащих кремний-углеродных композитов // *Российские нанотехнологии*. 2014. Т. 9. № 5—6. С. 48—51.

24. **Пресняков М.Ю. и др.** Термостабильность металлосодержащих кремний-углеродных нанокompозитов // *Российские нанотехнологии*. 2014. Т. 9. № 7—8. С. 59—70.

25. **Popov A.I., Varinov A.D., Presniakov M.Y.** Modification of Properties of Silicon-carbon Nanocomposites // *J. Nanoelectronics and Optoelectronics*. 2014. V. 9. No. 6. Pp. 787—791.

26. **Баринов А.Д., Попов А.И., Пресняков М.Ю., Шупегин М.Л.** Влияние термообработок на структуру, химический состав и электропроводность кремний-углеродных нанокompозитов // *Вестник МЭИ*. 2015. № 1. С. 85—90.

27. **Гуляев А.М. и др.** Резистивные газовые сенсоры с повышенной чувствительностью к спиртам на основе нанокристаллических пленок окислов олова с

аддитивами тербия и сурьмы // *Измерительная техника*. 2017. № 7. С. 34—36.

28. **Сарач О.Б.** Газовые сенсоры на основе тонких пленок SnO_{2-x} с аддитивом Gd // *Вестник МЭИ*. 2015. № 4. С. 62—66.

29. **Попов А.И., Сальников С.М., Ануфриев Ю.В.** Условия устойчивого переключения в ячейках памяти на фазовых переходах // *ФТП*. 2015. Т. 49. Вып. 4. С. 509—514.

30. **Попов А.И. и др.** Влияние конструкции ячеек памяти на фазовых переходах на характеристики переключения // *Вестник МЭИ*. 2014. № 4. С. 61—65.

31. **Попов А.И., Сальников С.М., Дудин А.А., Ануфриев Ю.В.** Влияние тепловых процессов на работоспособность ячеек памяти на фазовых переходах // *Аморфные и микрокристаллические полупроводники: Сб. трудов IX Междунар. конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та*, 2014. С. 99—100.

32. **Карташев В.Г. и др.** Применение синхронного детектирования при ультразвуковой толщинометрии бетонных изделий с неоднородной структурой // *Дефектоскопия*. 2015. № 8. С. 34—46.

33. **Качанов В.К. и др.** Применение радиотехнических методов обработки сигналов при ультразвуковой толщинометрии изделий из сложноструктурных материалов // *Дефектоскопия*. 2015. № 6. С. 32—40.

34. **Качанов В.К., Карташев В.Г., Соколов И.В., Концов Р.В., Федоров М.Б.** Ультразвуковая адаптивная многофункциональная дефектоскопия. М.: Издат. дом МЭИ, 2015.

35. **Качанов В.К. и др.** Структурный шум в ультразвуковой дефектоскопии. М.: Издат. дом МЭИ, 2016.

36. **Карташев В.Г., Качанов В.К., Шалимова Е.В.** Оценка потенциальной точности измерения толщины объектов из сложноструктурных материалов с частотно-зависимым затуханием ультразвука // *Измерительная техника*. 2016. № 11. С. 60—63.

37. **Качанов В.К. и др.** Выбор параметров пространственно-временной обработки сигналов при ультразвуковой структуроскопии чугунных изложниц, подвергшихся термоциклированию // *Дефектоскопия*. 2016. № 6. С. 42—50.

References

1. **Gulyaev A.M., Shnitnikov A.S.** Vliyanie Izbytki Komponentov na Elektricheskie Svoystva Plenok Antimonida Indiya. *Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov*. 2015;49;2:214—218. (in Russian).

2. **Morozova N.K.** Kristallografiya i Metody Issledovaniya Struktur. М.: Izdat. Dom MPEI, 2008. (in Russian).

3. **Popov A.I.** *Fizika i Tekhnologiya Neuporyadochenykh Poluprovodnikov*. М.: Izdat. Dom MPEI, 2008. (in Russian).

4. **Voronkov E.N., Gulyaev A.M., Miroshnikova I.N., Charykov N.A.** *Tverdotel'naya Elektronika*. М.: Akademiya, 2009. (in Russian).

5. **Voronkov E.N.** Tverdotel'naya Elektronika. M.: Akademiya, 2010. (in Russian).
6. **Morozova N., Danilevich N., Kanakhin A.** Self-activated Luminescence Spectra of CdS(O) in the Context of the Band Anticrossing Model. *Phys Stat Solidi*. 2010;7;6:1501—1503.
7. **Morozova N.K., Danilevich N.D., Oleshko V.I., Vil'chinskaya S.S.** Osobennosti Eksitonnykh Spektrov Monokristallov CdS(O). *Izv Vuzov. Seriya «Elektronika»*. 2012;1 (93):14—20. (in Russian).
8. **Morozova N.K., Danilevich N.D., Oleshko V.I., Vil'chinskaya S.S.** Opticheskie Svoystva Sloev Cds(O), Ionno-legirovannykh Kislorodom, s Pozitsii Teorii Antiperesekeyushchihsya Zon. *FTP*. 2013;47;8:1014—1021. (in Russian).
9. **Morozova N.K., Galstyan V.G., Volkov A.O., Mashchenko V.E.** Opticheskie svoystva Ionno-legirovannykh sloev ZnO(Se) s Pozitsiy Teorii Antiperesekeyushchihsya zon. *FTP*. 2015;49;9:1169—1174. (in Russian).
10. **Morozova N.K., Miroshnikov B.N.** Izoelektronnyye Tsentry Kisloroda i Provodimost' Kristallov CdS v Svravnenii s PbS. *FTP*. 2018;52;3:295—298. (in Russian).
11. **Mnatsakanov T.T., Tandoev A.G., Levinsh-teyn M.E., Yrrkov S.N., Palmour J.W.** Narushenie Neytral'nosti i Vozniknovenie S-obraznoy Vol't-amperno-y Harakteristiki pri Dvoynoy Inzhektionsii v Legirovannykh Poluprovodnikah. *FTP*. 2013;47;3:302—309. (in Russian).
12. **Mnatsakanov T.T., Levinsh-teyn M.E., Tandoev A.G., Yurkov S.N.** Transport Phenomena in Intrinsic Semiconductors and Insulators at High Current Densities: Suppression of Broken Neutrality Drift. *J. Appl. Phys*. 2013;114;6:064503.
13. **Levinsh-teyn M.E. i dr.** Vysokovol'tnyy Tiristor na Osnove Karbida Kremniya s Blokiryushchey Bazoy *n*-tipa. *FTP*. 2016;50;3:408—414. (in Russian).
14. **Mnatsakanov T.T., Levinsh-teyn M.E., Tandoev A.G., Yurkov S.N., Palmour J.W.** Minority Carrier Injection and Current-voltage Characteristics of Schottky Diodes at High Injection Level. *Solid-state Electronics*. 2016;121;7:41—46.
15. **Yurkov S.N. i dr.** Analiz Vliyaniya Neodnomernykh Effektov na Otpirayushchiy Tok Upravleniya Tiristornykh Struktur na Osnove 4H-SiC. *FTP*. 2017;51;2:234—239. (in Russian).
16. **Mnatsakanov T.T., Tandoev A.G., Levinsh-teyn M.E., Yurkov S.N.** Vol't-ampernaya Harakteristika Diodov Shottki pri Bol'shih Plotnostyakh Toka v Usloviyakh Inzhektionsii Neosnovnykh Nositeley. *FTP*. 2017;51;8: 1125—1130. (in Russian).
17. **Miroshnikov B.N., Miroshnikova I.N., Mohamed H.S.H., Popov A.I.** Shum Tipa $1/F\alpha$ v Fotochuvstvitel'nykh Elementah na Osnove Sul'fida Svintsa. *Izmeritel'naya Tekhnika*. 2015;2:37—40. (in Russian).
18. **Barinov A.D. i dr.** Ispol'zovanie Sovremennogo Oborudovaniya dlya Analiza Tonkoplennykh Struktur: Uspekhi i Problemy. *Vestnik MPEI*. 2013;5:129—132. (in Russian).
19. **Varlashov I.B. i dr.** Issledovanie Fotochuvstvitel'nykh Struktur na Osnove Pbs Metodom Ozhe-elektronnoy Spektroskopii. *Vestnik MPEI*. 2015;2:103—107. (in Russian).
20. **Mohamed H.S.H. e. a.** Spectral Characteristics and Morphology of Nanostructured Pb-S-O Thin Films Synthesized Via Two Different Methods. *J. Materials Science in Semiconductor Proc*. 2014;27:725—732.
21. **Miroshnikov B.N., Miroshnikova I.N., Popov A.I., Zinchenko M.Y.** Polycrystalline and Nanocrystalline Photosensitive Layers Based on Lead Sulfide. *J. Nano-electron and Optoelectron*. 2014;9:783—786.
22. **Miroshnikova I.N., Miroshnikov B.N., Popov A.I.** Optimizatsiya Parametrov Polikristallicheskiy Fotorezistorov na Osnove PbS. *FTP*. 2018;2:245—249. (in Russian).
23. **Popov A. I., Presnyakov M.Yu., Shupegin M.L., Vasil'ev A.L.** Nanostrukturirovanie Plenok Metallosoderzhashchih Kremniy-uglerodnykh Kompozitov. *Rossiyskie Nanotekhnologii*. 2014;9;5—6:48—51. (in Russian).
24. **Presnyakov M.Yu. i dr.** Termostabil'nost' Metallosoderzhashchih Kremniy-uglerodnykh Nanokompozitov. *Rossiyskie Nanotekhnologii*. 2014;9;7—8:59—70. (in Russian).
25. **Popov A.I., Barinov A.D., Presniakov M.Y.** Modification of Properties of Silicon-carbon Nanocomposites. *J. Nanoelectronics and Optoelectronics*. 2014;9;6: 787—791.
26. **Barinov A.D., Popov A.I., Presnyakov M.Yu., Shupegin M.L.** Vliyanie Termoobrabotok na Strukturu, Himicheskiy Sostav i Elektroprovodnost' Kremniy-uglerodnykh Nanokompozitov. *Vestnik MPEI*. 2015;1:85—90. (in Russian).
27. **Gulyaev A.M. i dr.** Rezivivnye Gazovye Sensory s Povyshennoy Chuvstvitel'nost'yu k Spirtam na Osnove Nanokristallicheskiy Plenok Okislov Olova s Additivami Terbiya i Sur'my. *Izmeritel'naya Tekhnika*. 2017;7:34—36. (in Russian).
28. **Sarach O.B.** Gazovye Sensory na Osnove Tonkiy Plenok SnO_{2-x} s Additivom Gd. *Vestnik MPEI*. 2015;4: 62—66. (in Russian).
29. **Popov A.I., Sal'nikov S.M., Anufriev Yu.V.** Usloviya Ustoychivogo Pereklyucheniya v Yacheekah Pamyati na Fazovykh Perekhodah. *FTP*. 2015;49;4:509—514. (in Russian).
30. **Popov A.I. i dr.** Vliyanie Konstruktsii Yacheek Pamyati na Fazovykh Perekhodah na Harakteristiki Pereklyucheniya. *Vestnik MPEI*. 2014;4:61—65. (in Russian).
31. **Popov A.I., Sal'nikov S.M., Dudin A.A., Anufriev Yu.V.** Vliyanie Teplovykh Protsesov na Rabotosposobnost' Yacheek Pamyati na Fazovykh Perekhodah. *Amorfnyye i mikrokrystallicheskie poluprovodniki: Sb. Trudov IX Mezhdunar. Konf. SPb.: Izd-vo Politekhn. Un-ta*, 2014:99—100. (in Russian).

32. **Kartashev V.G. i dr.** Primenenie Sinhronnogo Detektirovaniya pri Ul'trazvukovoy Tolshchinometrii Betonnyh Izdeliy s Neodnorodnoy Strukturoy. Defektoskopiya. 2015;8:34—46. (in Russian).

33. **Kachanov V.K. i dr.** Primenenie Radiotekhnicheskikh Metodov Obrabotki Signalov pri Ul'trazvukovoy Tolshchinometrii Izdeliy iz Slozhnostrukturnykh Materialov. Defektoskopiya. 2015;6:32—40. (in Russian).

34. **Kachanov V.K., Kartashev V.G., Sokolov I.V., Kontsov R.V., Fedorov M.B.** Ul'trazvukovaya Adaptivnaya Mnogofunktsional'naya Defektoskopiya. M.: Izdat. Dom MPEI, 2015. (in Russian).

35. **Kachanov V.K. i dr.** Strukturnyy Shum v Ul'trazvukovoy Defektoskopii. M.: Izdat. Dom MPEI, 2016. (in Russian).

36. **Kartashev V.G., Kachanov V.K., Shalimova E.V.** Otsenka Potentsial'noy Tochnosti Izmereniya Tolshchiny Ob'ektov iz Slozhnostrukturnykh Materialov s Chastotnozavisimym Zatuhanie Ul'trazvuka. Izmeritel'naya Tekhnika. 2016;11:60—63. (in Russian).

37. **Kachanov V.K. i dr.** Vybory Parametrov Prostranstvenno-vremennoy Obrabotki Signalov pri Ul'trazvukovoy Strukturopskopii Chugunnykh Izlozhnits, Podvergshihsvya Termotsiklirovaniyu. Defektoskopiya. 2016;6:42—50. (in Russian).

Сведения об авторах

Мирошникова Ирина Николаевна — доктор технических наук, директор Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова, заведующая кафедрой

электроники и наноэлектроники НИУ «МЭИ», e-mail: MiroshnikovaIN@mpei.ru

Попов Анатолий Игоревич — доктор технических наук, профессор кафедры электроники и наноэлектроники НИУ «МЭИ»

Гуляев Александр Михайлович — доктор технических наук, профессор кафедры электроники и наноэлектроники НИУ «МЭИ»

Зенова Елена Валентиновна — доктор технических наук, профессор кафедры нанотехнологии микроэлектроники НИУ «МЭИ», начальник лаборатории отдела разработки и исследования микро- и наносистем Института нанотехнологий микроэлектроники РАН.

Information about authors

Miroshnikova Irina N. — Dr.Sci. (Techn.), Director of Institute of Radio Engineering and Electronics named V.A. Kotelnikov, Head of Electronics and Nanoelectronics Dept., NRU MPEI, e-mail: MiroshnikovaIN@mpei.ru

Popov Anatoliy I. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Electronics and Nanoelectronics Dept., NRU MPEI

Gulyaev Aleksandr M. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Electronics and Nanoelectronics Dept., NRU MPEI

Zenova Elena V. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Nanotechnology of Microelectronics Dept., NRU MPEI, Head of Laboratory of Development and Research of Micro- and Nanosystems Dept., Institute of Nanotechnology of Microelectronics, Russian Academy of Sciences

Статья поступила в редакцию 05.03.2018