

ОТЗЫВ

научного консультанта

по диссертации Соловьёва Ярослава Александровича
«Формирование методом быстрой термообработки барьерных слоев для
кремниевых диодов Шоттки с улучшенной энергоэффективностью»
на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах

Научная оценка диссертации

Разработка приборов силовой и СВЧ электроники относится к важнейшим техническим задачам современной микроэлектроники в контексте их применения в устройствах управления мощным промышленным оборудованием, в автомобильной и машиностроительной отраслях, в системах управления изделиями специального назначения и устройствах СВЧ техники. Многочисленные исследования показывают, что схемы с диодами Шоттки являются наиболее подходящими для таких применений, поскольку наряду с подходящими приборными характеристиками, сам процесс их производства отличается относительной простотой, технологичностью и сравнительной дешевизной.

Докторская диссертация посвящена исследованию процессов быстрого термического формирования ряда контактно-барьерных структур (силицид металла)/Si-подложка, которые являются основой для диодов Шоттки. Разработана физико-математическая модель нагрева кремниевых пластин при быстрой термической обработке структур металл/кремний с сильнолегированной обратной стороны. Установлены новые и практически важные закономерности формирования силицидов как в случае одиарных металлов (Ni, Cr, Pt), так и более сложных металлических сплавов.

Научную значимость имеют также установленные взаимосвязи электрофизических и приборных характеристик контактно-барьерных структур с элементным составом структур и их структурно-фазовыми состояниями, что позволило разработать линейку новых диодов Шоттки, характеризующихся улучшенной энергоэффективностью. Результаты исследований и разработанные техпроцессы изготовления контактных барьеров запатентованы (18 патентов) и внедрены в серийное производство с экономическим эффектом.

Тематика исследований соответствует Перечню приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021 – 2025 гг., определенных Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020. № 156.

Все положения, выносимые на защиту, являются новыми научными качественно обоснованными результатами. Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации обоснованы и достоверны. Результаты

диссертации опубликованы и апробированы в объеме, превышающем требования ВАК.

Характеристика научной, научно-педагогической и производственной деятельности соискателя

Соловьёв Ярослав Александрович работает в ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ». На указанном предприятии прошел путь от инженера до начальника-научно-технического центра-заведующего лабораторией, работал инженером-электроником, инженером технологом, инженером технологом III-й, II-й и I-й категорий, ведущим инженером технологом, начальником технологической лаборатории отдела главного технолога, занимал ответственные должности первого заместителя главного технолога, главного технолога, главного инженера, заместителя директора по техническим вопросам Филиала «Транзистор». С 2007 г. работает по совместительству доцентом кафедры электронной техники и технологии учреждения образования Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, где преподает дисциплины, связанные с технологией и оборудованием для производства полупроводниковых приборов и СБИС. Под его совместным научным руководством в 2016 г. защитился кандидат технических наук.

Диссертационные исследования выполнялись в рамках Государственных научных программ, утвержденных постановлениями Совета Министров Республики Беларусь, включая ГПНИ «Электроника и фотоника», (срок реализации 2011–2015 гг.), ГПНИ «Фотоника, опто- и микроэлектроника», (срок реализации 2016–2020 гг.), ГНТП «Микроэлектроника» (срок реализации 2016–2020 гг.), где соискатель руководил и являлся ответственным исполнителем заданий. Кроме того, соискатель являлся руководителем и ответственным исполнителем заданий по НИР и НИОКР в рамках Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника (срок реализации 2021–2025 гг.), научно-технической программы Союзного государства «Разработка перспективных базовых технологических процессов получения функциональных материалов, структур, компонентов и модулей для высокоэффективных изделий фотоники в Союзном государстве» (сроки реализации 2023-2026 гг.), а также ряда НИР и НИОКР тематического плана ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ».

Результативность творческой работы проявилась в разработке технологий и постановке на серийное производство широкой гаммы изделий силовой электроники для преобразователей электрической энергии и ИС управления питанием (включая диоды Шоттки, биполярные транзисторы, биполярные транзисторы с изолированным затвором, ДМОП-транзисторы, прецизионные источники опорного напряжения, стабилизаторы напряжения ШИМ-контроллеры и др.), а также ИС цифровых датчиков – измерителей температуры, изготавливаемых ОАО «ИНТЕГРАЛ».

За многолетнюю плодотворную производственную и научно-педагогическую деятельность Соловьёв Я.А. награжден почетными грамотами ОАО «ИНТЕГРАЛ», Государственного комитета по науке и технологиям РБ, УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», является лауреатом премий Министерства промышленности РБ в области науки и техники за 2009, 2010, 2011, 2013 и 2022 гг.

Вся производственная, научная и педагогическая деятельность Соловьёва Я.А. свидетельствует о его соответствии квалификации степени доктора технических наук.

Считаю, что диссертационная работа «Формирование методом быстрой термообработки барьерных слоев для кремниевых диодов Шоттки с улучшенной энергоэффективностью» соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук (пп. 20-26 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь). Учитывая значительную научную новизну и практическую значимость диссертации, ее автор, Соловьёв Ярослав Александрович, заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Ученую степень доктора технических наук соискателю Соловьёву Я.А. предлагается присудить за развитие актуального научного направления – микроэлектроника и получение принципиально новых научных результатов, совокупность которых является концептуальным развитием направления фотонные технологии для создания микроэлектронных структур, включающих:

- разработанную физико-математическую модель нагрева некогерентным светом с обратной стороны высоколегированных кремниевых пластин, позволяющую прогнозировать с отклонением менее 2,5 % их нагрев до 960°C при изменении мощности ИК ламп и управлять процессом их быстрой термообработки;
- установленные закономерности структурно-фазовых и электрофизических изменений в одинарных системах Cr/Si и Ni/Si при быстром (~ 7 с) нагреве световыми импульсами в среде N₂ до температур от 400 до 500°C, которые приводят к формированию диодных структур Шоттки с увеличенной в 1,4 раза плотностью прямого тока (система Cr/Si) и уменьшенным прямым напряжением (система Ni/Si), что обусловлено формированием структурно однородных и гладких границ раздела CrSi₂/Si и NiSi/Si с низкой плотностью дефектов и высотой барьера Шоттки соответственно 0,61 В и 0,63 В.

- обнаруженную последовательность твердофазных реакций в смешанной системе Ni-Pt-V/Si при ее нагреве до температуры 450 - 500°C облучением световыми импульсами со стороны кремния, которая позволяет получать контактно-барьерные структуры Шоттки с расширенным температурным диапазоном эксплуатации за счет формирования слоев моносилицида никеля, содержащих атомы Pt в зародышах фазы силицида никеля на ранних стадиях формирования и с последующей сегрегацией силицида платины на межфазную границу раздела, что приводит к образованию барьеров Шоттки с высотой ~0,71 В;

- выявленные закономерности быстрой термической обработки (~ 7 с, 550°C) в среде N₂ световыми импульсами со стороны кремния двуслойной системы Ni-V/Pt/Si с толщиной слоя Ni-V от 20 до 40 нм и слоя Pt ~40 нм позволяющие формировать контактно-барьерные структуры Шоттки расширенного температурного диапазона эксплуатации с уменьшенным прямым напряжением, что обусловлено синтезом структурно однородного слоя с гладкой границей раздела Ni_xPt_ySi/Si, в которой увеличение толщины пленки Ni-V от 20 до 40 нм приводит к уменьшению высоты барьера Шоттки от 0,83 до 0,80 В.

Научный консультант –
профессор кафедры физической
электроники и нанотехнологий
Белорусского государственного
университета,
доктор физ.-мат. наук, доцент

П.И. Гайдук

П.И. Гайдук

