

Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 3

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.574.21.0074

Тема: «Разработка технологии получения полислоистых структур на основе синтетического монокристалла алмаза с наноразмерными функциональными областями различной проводимости для создания быстродействующих силовых высоковольтных диодов Шоттки с повышенной стойкостью к внешним воздействующим факторам»

Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

Критическая технология: Базовые технологии силовой электротехники

Период выполнения: 27.06.2014 - 31.12.2016

Плановое финансирование проекта: 34.00 млн. руб.

Бюджетные средства 25.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 9.00 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов"

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью "Позитив"

Ключевые слова: СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ, СИНТЕТИЧЕСКИЕ МОНОКРИСТАЛЛЫ АЛМАЗА, ДИОД ШОТКИ, ЛЕГИРОВАНИЕ, ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ, ЗАЩИТНАЯ СТРУКТУРА

1. Цель проекта

Цель проекта - создание полислоистых структур из синтетического монокристалла алмаза с наноразмерными функциональными областями, отличающимися типом проводимости, для изготовления алмазных диодов Шоттки нового поколения на обратное напряжение до 1500 В и средний прямой ток до 5 А, обеспечивающие снижение прямого падения напряжения и работоспособность в расширенном диапазоне температур вплоть до 250 °С. После окончания проекта планируется проведение ОКР по теме: «Разработка и освоение производства нового поколения быстродействующих силовых высоковольтных диодов Шоттки на основе синтетического монокристалла алмаза», в ходе которой будут созданы опытные образцы диодов Шоттки нового поколения на основе синтетического алмаза

2. Основные результаты проекта

Краткое описание результатов третьего этапа:

- 1) Разработана лабораторная методика формирования высококачественного омического контакта к алмазу с проводимостью р-типа.
- 2) Разработана программа и методики проведения экспериментальных исследований качества омического контакта к алмазу с проводимостью р-типа.
- 3) Проведено исследование качества омического контакта к алмазу с проводимостью р-типа, получаемому с помощью разработанной лабораторной методики.
- 4) Разработана лабораторная методика нанесения тонких диэлектрических покрытий с высокой диэлектрической проницаемостью на поверхность синтетического алмаза различной ориентации.
- 5) Разработана лабораторная технология синтеза из газовой фазы с целью получения воспроизводимых эпитаксиальных алмазных слоев р-типа проводимости с уровнем легирования в диапазоне от 10^{15} до 10^{19} см⁻³.
- 6) Разработана программа и методики проведения экспериментальных исследований электрофизических свойств эпитаксиальных слоев алмаза р-типа проводимости, полученных методом синтеза из газовой фазы.
- 7) Проведены исследования электрофизических свойств эпитаксиальных слоев алмаза р-типа проводимости, полученных методом синтеза из газовой фазы с помощью разработанной технологии.
- 8) Разработана лабораторная методика имплантации примеси фосфора и последующего отжига радиационных дефектов для

формирования наноразмерных областей n-типа проводимости в алмазе.

9) Разработана программа и методики проведения экспериментальных исследований электрофизических свойств областей n-типа проводимости, полученных с помощью ионной имплантации в алмазе.

10) Проведены исследования электрофизических свойств областей n-типа проводимости, полученных с помощью ионной имплантации в алмазе с использованием разработанной лабораторной методики.

11) Выполнены дополнительные патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96.

Лабораторная методика формирования высококачественного омического контакта к алмазу обеспечивает:

а) получение омического контакта к алмазу, легированному бором в диапазоне концентраций от 10^{15} до 10^{19} см^{-3} , с величиной контактного сопротивления менее $0,01 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$.

б) оценка качества контактов проводится путем измерения контактного сопротивления методом длинной линии.

Лабораторная методика нанесения тонких диэлектрических покрытий с высокой диэлектрической проницаемостью на поверхность синтетического алмаза обеспечивает:

а) получение плотных диэлектрических пленок толщиной от 100 до 1000 нм с высокой диэлектрической проницаемостью (более 5) на основе оксидов переходных металлов (Al, Hf, Ti, Sc).

б) критическое значение электрического поля пробоя получаемых покрытий не менее 1 МВ/см.

Лабораторная технология синтеза из газовой фазы эпитаксиальных алмазных слоев p-типа обеспечивает:

а) получение высококачественных легированных бором эпитаксиальных алмазных пленок толщиной от 10 до 100 мкм на монокристаллических алмазных подложках.

б) содержанием бора в диапазоне от 10^{15} до 10^{19} см^{-3} .

в) подвижность носителей заряда при комнатной температуре ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) не менее $100 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ в диапазоне концентраций бора до 10^{18} см^{-3} .

г) полуширина линии 1332 см^{-1} в спектре КРС от получаемых алмазных пленок менее 10 см^{-1} .

Лабораторная методика имплантации примеси фосфора и последующего отжига радиационных дефектов для формирования наноразмерных областей n-типа проводимости в алмазе обеспечивает:

а) получение обогащенных фосфором областей толщиной менее 100 нм в синтетическом алмазе произвольного типа проводимости.

б) концентрацию примеси фосфора в получаемой области не ниже 10^{18} см^{-3} .

в) удельное электросопротивление получаемых наноразмерных областей при комнатной температуре ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) менее $10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

г) отсутствие широкой полосы 1580 см^{-1} в спектре КРС от получаемых областей n-типа проводимости в алмазе.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Секрет производства (ноу-хау) "Лабораторная методика имплантации примеси фосфора и последующего отжига радиационных дефектов для формирования наноразмерных областей n-типа проводимости в алмазе" (НУМК.432245.104 ЛМ), приказ о введении режима коммерческой тайны на основе конфиденциальности №79-о от 17.12.2015 г.

4. Назначение и область применения результатов проекта

В первую очередь, разрабатываемые диоды Шоттки предназначены для использования в высокоэффективных источниках вторичного электропитания. Для повышения эффективности источников вторичного электропитания требуются силовые выпрямители, рассчитанные на напряжение выше 500 В и способные работать на высоких частотах. Типичное применение выпрямляющего диода с такими характеристиками – демпфирующий диод в схеме силового инвертора. С момента подключения электрической мощности к управляющему электроду ключевого элемента, работающего на индуктивную нагрузку, нагрузка запасает энергию. При попытке выключить ключевой элемент эта энергия может вызвать серьезные повреждения компонентов цепи нагрузки, включая сам ключевой элемент. Демпфирующий диод подключается параллельно индуктивной нагрузке, чтобы обеспечить выход энергии, запасенной в ней, при падении напряжения на ней. Для решения поставленной задачи необходимы высоковольтные быстродействующие диоды с минимальным временем восстановления. Оптимальными для такого применения являются диоды Шоттки из широкозонных полупроводниковых материалов (карбид кремния, нитрид галлия, алмаз). Алмаз имеет самое высокое электрическое поле пробоя среди таких полупроводников. Это позволяет изготавливать на основе алмаза приборы с тонким дрейфовым слоем, способные выдерживать высокие обратные напряжения. Критическое электрическое поле у алмаза в два раза выше, чем у GaN, в четыре раза выше, чем у SiC, и более чем в 30 раз выше, чем у Si. Вследствие этого, при аналогичной конструкции приборы на алмазе при заданном напряжении пробоя могут иметь существенно меньшее сопротивление в открытом состоянии. Дополнительный выигрыш приборам на основе синтетического алмаза дает возможность работы при температуре кристалла 250°C и выше. Поэтому на алмазных диодах возможно создание источников вторичного электропитания имеющих существенно меньшие потери. В настоящее время такие источники представляют интерес для промышленности, медицины, космической техники и техники специального назначения. Улучшение КПД и увеличение допустимой рабочей температуры приводит также к улучшению массо-габаритных параметров устройств.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Внедрение результатов проекта позволит создать новый класс полупроводниковых приборов с улучшенными электрическими

и температурными характеристиками, способными работать в аппаратуре для экстремальных условий эксплуатации. Уже сейчас, несмотря на имеющиеся недостатки, более широкий диапазон рабочих температур алмазных диодов вплоть до 250 °С вместо 175 °С для диодов на SiC, а также существенно более высокая стойкость к воздействию спецфакторов позволяет утверждать о перспективности использования алмазных приборов для применения в высоконадежных импульсных устройствах, предназначенных для работы в экстремально жестких условиях эксплуатации. Разработка нового поколения алмазных приборов с улучшенными характеристиками позволит существенно расширить область возможных применений алмазных диодов Шоттки. В то же время, в отличие от карбида кремния, где отечественные разработки не могут в полной мере конкурировать с изделиями зарубежных фирм, в области разработки и создания алмазных полупроводниковых приборов Россия сможет иметь приоритет.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Проект выполняется при поддержке Индустриального партнера ООО «Позитив». По окончании проекта планируется совместное проведение ОКР по теме: «Разработка и освоение производства нового поколения быстродействующих силовых высоковольтных диодов Шоттки на основе синтетического монокристалла алмаза», в ходе которой будет разработана техническая документация и освоено производство второго поколения диодов Шоттки на основе монокристаллического алмаза. Исследование рынков сбыта алмазных диодов Шоттки запланировано на 5 этап выполнения ПНИ в соответствии с Планом-графиком.

7. Наличие соисполнителей

нет

федеральное государственное бюджетное научное учреждение
"Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных
материалов"

Директор
(должность)



(подпись)

Бланк В.Д.
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту
старший научный сотрудник
(должность)

М.П.



(подпись)

Борماشов В.С.
(фамилия, имя, отчество)