

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Михайлюк Екатерины Андреевны «Электрофизические свойства полупроводниковых гетероструктур $In_2Te_3/InAs$ и $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3/InAs$ », представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – «физика полупроводников».

Одним из наиболее стремительно развивающихся направлений в физике и технологии полупроводников является исследования физических явлений протекающих на границах раздела многослойных гетероструктур на основе соединений $A^{III}B^{VI}$ и $A^{III}B^V$. Эти структуры имеют высокий рыночный потенциал и обладают рядом преимуществ: малые габариты, низкие управляющие рабочие напряжения и рабочие токи, высокие скорости срабатывания или переключения. Однако, наличие высокой плотности центров локализованных зарядов (ЦЛЗ) на границах раздела в гетероструктурах и, как следствие, отсутствие модуляции области пространственного заряда (ОПЗ) внешним напряжением является основным отрицательным фактором, ограничивающим функциональные возможности создаваемых на их основе приборов. Поэтому важным шагом в развитии быстродействия полевых приборов стало использование тонкого слоя широкозонного полупроводника (П'), включенного в гетероструктуру и выполняющего функции диэлектрика в отношении экранирования внешнего электрического поля. В качестве таких слоев используются соединения со стехиометрическими вакансиями типа $A_2^{III}B_3^{VI}$. Электрические характеристики этих соединений не чувствительны к легирующим примесям и радиационным воздействиям; имеют низкую подвижность основных носителей, при этом большинство полупроводников $A_2^{III}B_3^{VI}$ кристаллизуются в решетке типа сфалерит. Это обстоятельство хорошо удовлетворяет всем принципам объемного соответствия в гетеропереходах типа $A_2^{III}B_3^{VI} - Si$, $A_2^{III}B_3^{VI} - A^{III}B^V$ и, как следствие, позволяет создать границу раздела с низкой плотностью ЦЛЗ. В связи с этим цель и основные задачи данной работы являются актуальными.

Системный подход к анализу уже известных закономерностей изменения свойств полупроводников типа $A^{III}B^V$ позволил автору более конкретно определить направления проведения исследований. Наиболее важными результатами, имеющими научную значимость, являются:

1. Появление нового акцепторного центра в тонких слоях In_2Te_3 и $In_{2x}Ga_{2(1-x)}$ соответствующего нейтральной ловушке с энергией 0.36 эВ, концентрация которого ($2 \cdot 10^{15} \div 8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$) зависит от способа получения и технологических режимов.

2. Решение, модифицированного уравнения электронейтральности для гетероструктур $In_2Te_3/InAs$ (n – типа) с учётом двух типов глубоких уровней (0.5 эВ и 0.36 эВ) в запрещённой зоне материала слоя.
3. Доказательство отсутствия влияния генерационно – рекомбинационных процессов в интервале исследуемых температур 77 – 400 К на изолирующие свойства слоя In_2Te_3 или $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$ ($x \sim 0.65$) и возможность использования слоев теллурида индия в качестве изолирующих в полевых гетероструктурах на основе $InAs$.

Практическая значимость результатов и выводов, полученных в работе, заключается в возможности их применения для анализа экспериментальных результатов, закономерностей и теорий, полученных на основе исследований других полупроводниковых гетеросистем. Полученные результаты открывают перспективы для дальнейших исследований в области управления дефектами и поверхностными электронными состояниями в гетероструктурах $In_2Te_3/InAs$ и $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3/InAs$ (n – типа).

Работа написана грамотным научным стилем, материал изложен понятно и последовательно. На основе большого массива экспериментальных результатов и теоретических расчетов автор доказывает, что классические методы исследования (ВАХ и температурные зависимости тока) не обладают необходимой чувствительностью к микронеоднородностям. И при обработке результатов не учитывают влияние примесей с глубокими или мелкими уровнями на электронные процессы, происходящие на границе раздела ПП. Поэтому несомненным достоинством работы является идея использования методов компьютерного моделирования для решения уравнения электронейтральности в структуре $Al/In_2Te_3/InAs$ (n – типа), с учётом двух типов глубоких уровней в запрещённой зоне материала слоя.

Полученные результаты и выводы согласуются с ранее опубликованными результатами исследований других аналогичных гетероструктур. Для исследования спектра поверхностных электронных состояний использовался метод дифференциальной проводимости и емкости в диапазоне частот тестового сигнала от 20 Гц до 2 МГц и температур от 77 К до 400 К. Исследование электронных явлений в гетероструктурах проводилось методами: вольт – фарадных, вольт – амперных характеристик и адмиттанса. Дополнительную достоверность полученным результатам придает их непротиворечивость и согласование с наиболее общими известными закономерностями и теориями физики полупроводников. В целом это максимально обеспечивает достоверность полученных результатов и выводов.

Вместе с тем в работе обнаружены некоторые упущения и недостатки, по которым можно сделать следующие замечания.

1. Необходимо уточнить характер распределения плотности электронных состояний по энергии на границе раздела $A_2^{III}B_3^{VI}/InAs$?
2. Какое влияние оказывает наличие нерезкой границы раздела в гетероструктуре $In_2Te_3/InAs$ (рис.2.1) на её электрофизические свойства?
3. В работе исследованы температурные зависимости подвижности носителей заряда при температурах выше комнатных. В этом случае, очевидно, большой вклад в величину подвижности привносит рассеяние на акустических колебаниях решетки и, следовательно, в работе следовало бы использовать низкие температуры.

Однако, несмотря на отмеченные недостатки и возникшие вопросы, диссертация Михайлюк Е.А. оставляет хорошее впечатление. Рассматривая диссертационную работу Михайлюк Е.А. в целом, следует отметить, что она является законченной научно-исследовательской работой, обладающей актуальностью, новизной, научной и практической значимостью. Текст диссертации Михайлюк Е.А. изложен в доступной форме и снабжен достаточным количеством иллюстраций. Содержание диссертации с необходимой полнотой отражено в автореферате. Основные результаты работы опубликованы в периодических отечественных изданиях, рекомендованных ВАК.

Диссертация «Электрофизические свойства полупроводниковых гетероструктур $In_2Te_3/InAs$ и $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3/InAs$ » соответствует всем критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Михайлюк Екатерина Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников.

Дата: 2 февраля 2016 года.

Официальный оппонент, доцент
кафедры физики твердого тела и
наноструктур физического факультета
Воронежского государственного университета,
доктор физико-математических наук
по специальности 01.04.10 – физика полупроводников
Середин Павел Владимирович
paul@phys.vsu.ru, +79042112262

Заверяю:
Ученый секретарь ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный университет»
к.п.н., Турбина Наталия Евгеньевна



Адрес: 394006, г. Воронеж, Университетская ул. д.1