

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»

В текущем столетии стремительно развиваются исследования физических явлений в наноструктурированных материалах. Очевидно, что сформировалось новое научное направление, одним из объектов которого являются конденсированные среды с неоднородностями структуры нанометрового масштаба. Устройства электронной техники, изготавливаемые из наноматериалов и наноструктур, обладают рядом преимуществ: малые габариты, низкие управляющие напряжения и рабочие токи, высокие скорости срабатывания или переключения. Особое место среди этих систем занимают интегральные схемы и оптоэлектронные устройства на основе узкозонных материалов типа $InAs$ или InS . Дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования таких гетероструктур, как $A^{III}_2B^{VI}_3/InAs$, позволят расширить представления об электрофизических явлениях, протекающих в них, и о возможности их практического использования. Поэтому цель диссертации Михайлюк Е.А., посвященной установлению основных закономерностей переноса заряда в пленках $A_2^{III}B_3^{VI}$ гетероструктур на основе арсенида индия, представляется актуальной, как с научной, так и с практической точек зрения.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.04.10 – «физика полупроводников» в части пункта 3 «Примеси и дефекты в полупроводниковых и композитных структурах», в части 4 «Поверхность и граница полупроводников, полупроводниковые гетероструктуры, контактные явления», в части 17 «Моделирование свойств и физических явлений в полупроводниках и структурах, технологических процессов и полупроводниковых приборов».

Аналитический обзор – достаточно полный, отражает анализ современных моделей МДП-структур с однородно распределенным поверхностным потенциалом. Большое внимание уделено теории адмиттанса и методике исследования поверхностных состояний МДП-структур. В качестве математической модели перезарядки поверхностных состояний на границе раздела полупроводник-диэлектрик рассмотрен прием введения в эквивалентную схему МДП-структуры емкости и проводимости поверхностных состояний. В результате анализа имеющихся данных по другим методам исследования сделан обоснованный выбор в пользу метода полной проводимости.

В 3 главах основной части диссертации автором проделана большая работа по исследованию и анализу процессов формирования гетероструктур $In_2Te_3/InAs$ (n – типа) и $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$ ($x \sim 0.65$)/ $InAs$ (n – типа). В качестве основных методов синтеза экспериментальных образцов в работе использовались: технология гетеровалентного замещения и метод напыления в квазизамкнутом объеме из независимых источников. На основе анализа экспериментальных результатов были сделаны выводы о преимуществах и недостатках обеих методов, определяющих электрофизические свойства гетероструктур.

Методом эквивалентных схем и теории адмиттанса рассчитаны значения параметров центров локализации заряда в тонких слоях In_2Te_3 и $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$ ($x \sim 0.65$), на основе которых создана теоретическая модель процессов переноса заряда в полупроводниковых структурах на арсениде индия с тонкими слоями стехиометрических вакансий типа In_2Te_3 . В результате численного моделирования уравнения электронейтральности проведено исследование гетероструктур $In_2Te_3/InAs$ и $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$ ($x \sim 0.65$)/ $InAs$ (n – типа) с точки зрения вклада центров локализации заряда в электронные процессы и определены оптимальные условия использования тонких слоев соединений $A_2^{III}B_3^{VI}$ в качестве подзатворных и полуизолирующих в МДП-структурах.

Наиболее важными результатами, имеющими несомненную научную ценность, являются:

1. Автором обнаружено, что гетероструктуры $In_2Te_3/InAs$ и $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3/InAs$ ($x \sim 0.65$) (n – типа) независимо от способа получения, содержат на границе раздела глубокие центры, один из которых с энергией активации 0.36 эВ ниже дна зоны проводимости отвечает характеру поведения нейтральной ловушки, второй – с энергией активации 0.5 эВ является центром донорного типа.

2. Результаты проведенного моделирования подтверждено наличие в запрещённой зоне теллурида индия двух центров локализации заряда и установлено изменение типа проводимости в диэлектрическом слое при температуре выше 250 К с электронного на дырочный, что объясняется участием центра с энергией активации 0.36 эВ, который заполняется электронами из валентной зоны.

3. Сделаны оценки подвижности свободных носителей заряда для тонких слоев In_2Te_3 [$\mu_p = (10^5 \div 10^{-2}) \frac{cm^2}{B \cdot c}$ $\mu_e = (10^2 \div 10^{-4}) \frac{cm^2}{B \cdot c}$] в диапазоне температур (77 – 400) К, на основании которых автор делает вывод о возможности их использования в качестве изолирующих в полевых гетероструктурах на основе $InAs$.

Практическая значимость работы заключается в том, что обнаруженный автором эффект образования в слоях теллуридов индия или теллуридов индия-галлия глубоких центров с энергией активации 0.5 эВ и 0.36 эВ ниже дна зоны проводимости и концентрацией нейтрального центра локализации заряда ($2 \cdot 10^{15} \div 8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$) открывает пути управления электрофизическими свойствами широкозонных полупроводников и получению функциональных материалов с заданными свойствами.

Достоверность и обоснованность основных положений и выводов диссертации обеспечивается критериями выбора физических методов и моделей, применением в совокупности современных методов исследований поверхностных состояний и глубоких уровней, повторяемостью результатов исследований, соответствием отдельных результатов известным из литературных источников.

В качестве замечаний можно отметить следующие:

1. Автором проанализированы различные методы получения гетероструктур и проведены исследования электрофизических свойств различных по составу слоёв теллуридов. Но, к сожалению, отсутствует сравнительный анализ методов получения и электрофизических свойств гетероструктур.

2. В работе указано, что применение противодавления мышьяка при гетеровалентном замещении позволяет получать слои теллуридов с более резкой границей раздела и более совершенные по структуре. Однако в работе отсутствуют результаты экспериментальных исследований структуры исследованных в диссертации слоёв In_2Te_3 и $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}\text{Te}_3$ ($x \sim 0.65$).

3. Приведенные на рис. 1.4 температурные зависимости концентрации носителей заряда компенсированных полупроводников с различной степенью компенсации не соответствуют теоретическим, которые определяются формулами (1.53), (1.57) и (1.60). Отметим, что при частичной компенсации примеси на температурной зависимости концентрации носителей заряда в области низких температур должен быть еще один прямолинейный участок.

4. В тексте диссертации имеются также отступления от общепринятых правил оформления:

- в первой главе представлен один подраздел (1.1.1) который не представлен в содержании работы;

- применяется нестандартная нумерация формул (не из двух, а из трех цифр), например: (4.7.1, 4.9.1); при этом после многих формул отсутствуют знаки препинания;

- в работе имеются отдельные опечатки (например, с. 68, 75, 87 и др.) и неудачные выражения (например, на с. 55, 57, 62).

Однако, вышеперечисленные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертации.

Рассматривая диссертационную работу Михайлюк Е.А. в целом, следует отметить, что она является законченной научно-исследовательской работой,

обладающей актуальностью, новизной, научной и практической значимостью. Содержание диссертации с необходимой полнотой отражено в автореферате. Основные результаты работы достаточно подробно опубликованы в виде научных статей в ведущих российских изданиях рекомендованных ВАК РФ, в том числе индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Содержание диссертации с необходимой полнотой отражено в автореферате.

Диссертация Михайлюк Е.А. «Электрофизические свойства полупроводниковых гетероструктур $In_2Te_3/InAs$ и $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3/InAs$ » выполнена на высоком научном уровне и своей актуальностью, степенью обоснованности положений, результатов и выводов соответствует всем критериям «Положения о присуждении 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.

Официальный оппонент, заведующий
кафедрой физики твердого тела
Воронежского государственного
технического университета,
д.ф.-м.н., профессор

Юрий Егорович Калинин

27.01.2016 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Воронежский государственный технический
университет».



Почтовый адрес: 394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14.
Тел.: +7 (473) 246-66-46
E-mail: kalinin48@mail.ru

Подпись Калинин Ю. Е.
ЗАБЕРЯЮ
учёный секретарь Учёного совета ВГТУ
М. А. В. Мандрыкин А.В.Мандрыкин