

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

**Труды XXVI Международного
симпозиума**

14–17 марта 2022 г., Нижний Новгород

Том 2

Секция 3

Нижний Новгород
Издательство Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского
2022

УДК 538.9
ББК 22.37; 22.33
Н-25

Нанозифика и нанозлектроника. Труды XXVI Международного симпозиума (Нижний Новгород, 14–17 марта 2022 г.) В 2 т. Том 2. — Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2022. — 501 с.
ISBN 978-5-91326-720-7

Организаторы

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации;
Отделение физических наук РАН;
Научный совет РАН по физике полупроводников;
Научный совет РАН по физике конденсированных сред;
Институт физики микроструктур РАН;
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского;
Благотворительный фонд «От сердца к сердцу».

Сопредседатели Симпозиума

С.В. Гапонов, академик РАН, ИФМ РАН
З.Ф. Красильник, член-корр. РАН, ИФМ РАН

Учёный секретарь Симпозиума

Д.А. Татарский, к. ф.-м. н., ИФМ РАН

Программный комитет

А.Ю. Аладышкин, к.ф.-м.н.,	ИФМ РАН, Нижний Новгород
В.В. Бельков, д.ф.-м.н.	ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
И.С. Бурмистров, д.ф.-м.н.	ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН, Черногловка
В.А. Бушуев, д.ф.-м.н.	МГУ, Москва
В.А. Быков, д.т.н.	NT-MDT Spectrum Instruments, Москва
В.А. Волков, д.ф.-м.н.	ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва
В.И. Гавриленко, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Н. Новгород
А.Б. Грановский, д.ф.-м.н.	МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
К.Н. Ельцов, д.ф.-м.н.	ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, Москва
С.В. Иванов, д.ф.-м.н.	ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
Е.Л. Ивченко, чл.-корр. РАН	ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
В.В. Кведер, академик	ИФТТ РАН, Черногловка
А.В. Латышев, академик	ИФП СО РАН, Новосибирск
А.С. Мельников, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Н. Новгород
В.Л. Миронов, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Н. Новгород
С.А. Никитов, чл.-корр. РАН	ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, Москва
Д.В. Рощупкин, д.ф.-м.н.	ИПТМ РАН, Черногловка
В.В. Рязанов, д.ф.-м.н.	ИФТТ РАН, Черногловка
Н.Н. Салащенко, чл.-корр. РАН	ИФМ РАН, Н. Новгород
М.В. Сапожников, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
А.А. Саранин, чл.-корр. РАН	ИАПУ ДВО РАН, Владивосток
В.Б. Тимофеев, академик	ИФТТ РАН, Черногловка
Ю.А. Филимонов, д.ф.-м.н.	Саратовский филиал ИРЭ РАН, Саратов
А.А. Фраерман, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Н. Новгород
Д.Р. Хохлов, чл.-корр. РАН	МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
А.В. Чаплик, академик	ИФП СО РАН, Новосибирск
Е.В. Чупрунов, д.ф.-м.н.	ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород
Н.И. Чхало, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Н. Новгород

Организационный комитет

В.Г. Беллюстин	ИФМ РАН, Н. Новгород
М.В. Зорина	ИФМ РАН, Н. Новгород
А.В. Иконников	МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
Д.А. Камелин	ИФМ РАН, Н. Новгород
А.А. Копасов,	ИФМ РАН, Н. Новгород
Р.С. Малофеев	ИФМ РАН, Н. Новгород
М.С. Михайленко	ИФМ РАН, Н. Новгород
С.В. Морозов	ИФМ РАН, Н. Новгород
Е.Н. Садова	ИФМ РАН, Н. Новгород
Е.Е. Пестов	ИФМ РАН, Н. Новгород

ISBN 978-5-91326-720-7

ББК 22.37; 22.33

© Нижегородский госуниверситет
им. Н.И. Лобачевского, 2022
© Институт физики микроструктур
РАН, 2022

Темновые токи униполярных NBvN структур на основе HgCdTe

А.В. Войцеховский^{1, §}, С.Н. Несмелов¹, С.М. Дзядух¹, Д.И. Горн¹, Н.Н. Михайлов^{1-3, *}, С.А. Дворецкий^{1, 2}, Р.В. Меньшиков², Г.Ю. Сидоров^{1, 2}, И.Н. Ужаков², М.В. Якушев²

¹ Томский государственный университет, пр. Ленина 36, Томск, Россия, 634050.

² Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН, пр. Лаврентьева 13, Новосибирск, Россия, 630090.

³ Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова 2, Новосибирск, 630090.

*vav43@mail.tsu.ru, §mikhailov@isp.nsc.ru

В работе приводятся результаты экспериментального исследования NBvN-структур созданных на основе эпитаксиальной пленки твердых растворов теллурида кадмия и ртути ($\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$) с содержанием CdTe $x=0.303$ в поглощающем v-слое толщиной 4.4 мкм, перспективных для создания эффективных приемников излучения среднего (3-5 мкм) инфракрасного диапазона, работающих при повышенных температурах.

Фундаментальные свойства полупроводникового твердого раствора теллурида кадмия и ртути $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ обеспечивают его широкое применение при создании высокочувствительных инфракрасных детекторов, действующих в различных спектральных областях ИК диапазона. Создание униполярных барьерных структур с одной стороны потенциально позволяет повысить рабочую температуру детекторов, а с другой дает существенные технологические преимущества [1]. Публикации о практических попытках создания детекторов на основе униполярных барьерных pBn-структур на основе МЛЭ HgCdTe стали появляться уже достаточно давно [2, 3], но до сих пор результаты исследований показывают необходимость дальнейшего усовершенствования технологического цикла создания подобных структур для уменьшения влияния компоненты тока связанной с поверхностной утечкой и уменьшения времени жизни Шокли-Рида-Холла. В докладе представлены результаты исследования MWIR NBvN-структур на основе HgCdTe, выращенного методом МЛЭ на подложках из GaAs (013).

Образцы и методики эксперимента

Выращивание эпитаксиальной пленки $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ осуществлялось на установке молекулярно-лучевой эпитаксии «Обь-М» с эллипсометрическим контролем толщины и состава растущих слоев in-situ. В процессе роста на подложке GaAs (013) сначала были сформированы буферные слои ZnTe и CdTe (толщиной 30 нм и 5.5 мкм, соответственно) для согласования постоянных кристаллических решеток, а затем последовательно слой за слоем выра-

щивались: широкозонный нижний N_2 -слой; поглощающий v-слой; барьерный B-слой; покрывающий (контактный) N_1^+ -слой с повышенным уровнем легирования индием. При росте барьерного слоя для получения резкой гетерограницы производилась остановка технологического процесса с изменением технологических ростовых параметров (до десятка минут) и степень размытия гетерограницы не превышала нескольких нанометров. Для данной серии образцов в содержание CdTe поглощающем v-слое толщиной 4.4 мкм находилось в районе 0.303, а внедряемая в процессе роста концентрация индия составляла величину $3,22 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Схематическое изображение расположения слоев NBvN-структуры изображено на рисунке 1 (а).

Для физического разделения исследуемой пленки на отдельные структуры проводилось жидкостное травление поверхности $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, в результате чего получались отдельные меза-структуры. Для осуществления возможности анализа влияния боковой поверхности на характеристики, проводилось формирование структур различного диаметра: 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150, 100, 50 и 20 мкм. В результате для каждого типоразмера имеется свое отношение периметра к площади структуры, определяющей вклад границы раздела на боковых поверхностях меза-структур. Схематическое изображение распределения исследуемых образцов по поверхности структуры изображено на рисунке 1 (б). После этого проводилась пассивация всей поверхности структуры диэлектрическим покрытием Al_2O_3 , который наносился наносится методом плазменно-индуцированного атомно-слоевого осаждения (PE ALD) при температуре образца 120 °С.

Для формирования МДП-структур на основе пленок NBvN на поверхность Al_2O_3 напылялись металлические электроды из индия. Для создания обычных NBvN-структур перед напылением металлических электродов проводилось вскрытие контакта.

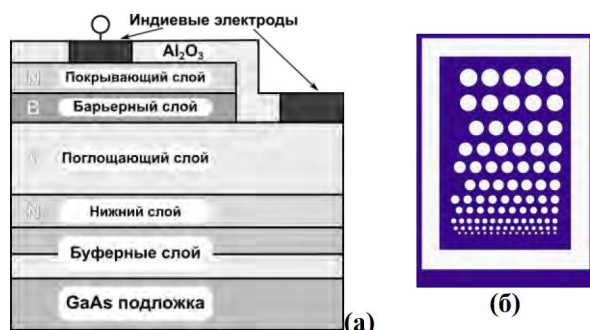


Рис. 1. Схематическое представление расположения слоев (а) и электродов (б) NBvN-структуры

Результаты и обсуждение

Для изготовленных образцов измерялись ВАХ на различных температурах, а также температурные зависимости плотности тока при различных напряжениях. Для выявления влияния поверхностной утечки определялись зависимости тока от отношения P/A , где P – периметр, A – площадь меза-структуры. МДП-структуры изготовленные на основе пленок NBvN использовались для проведения исследования свойств данных пленок методом спектроскопии адмиттанса. На основании измерения ВАХ были построены графики Аррениуса при различных напряжениях смещения. Определенные величины энергии активации соответствуют значению, близкому к ширине запрещенной зоны.

Для выделения из общего тока структуры компонент, связанных с объемной плотностью тока и плотностью тока поверхностной утечки, были проведены измерения зависимости плотности темнового тока от отношения периметра к площади NBvN-структур при температуре 295 К. Плотность тока поверхностной утечки определяется из наклона прямой, а точка пересечения с осью ординат дает значение объемной компоненты тока.

При исследовании температурных зависимостей адмиттанса на различных частотах переменного тестового сигнала были обнаружены две группы максимумов нормированной дифференциальной проводимости (рисунок 2), соответствующие двум энергиям активации носителей заряда. Для обнаруженных групп максимумов нормированной диффе-

ренциальной проводимости были построены графики Аррениуса. Энергии активации, определенные по углу наклона, составили величины 0.295 эВ и 0.357 эВ.

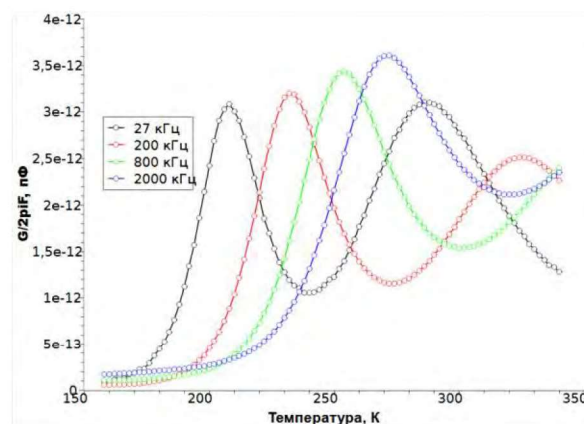


Рис. 2. Температурные зависимости приведенной проводимости МДП-структуры на основе пленки NBvN, измеренные на различных частотах в режиме обогащения

Проведенные экспериментальные исследования NBvN-структур, изготовленных на основе МЛЭ $Hg_{1-x}Cd_xTe$ с содержанием CdTe в поглощающем слое 0.303, показали перспективность использования данных пленок для создания эффективных приемников излучения среднего (3-5 мкм) инфракрасного диапазона, работающих при повышенных температурах. Используемые для получения структур на основе данных материалов параметры технологических операций позволили получить низкую плотность тока поверхностной утечки ($1.44 \cdot 10^{-7}$ А/см) при плотности объемной компоненты равной $8.57 \cdot 10^{-4}$ А/см. Проведение адмиттансных исследований позволило определить энергии активации носителей заряда, которые составили величины 0.295 эВ и 0.357 эВ, что достаточно близко к ширине запрещенной зоны в поглощающем слое.

Исследования проведены при финансовой поддержке гранта Российского Научного Фонда (проект № 19-12-00135).

Литература

1. Maimon S., Wicks G.W. // Appl. Phys. Lett., V. 89, 151109 (2006).
2. Itsuno A.M., Phillips J.D., Velicu S. // Appl. Phys. Lett., V. 100, 161102 (2012).
3. Velicu S., Zhao J., Morley M., et al. // Proc. SPIE, V. 8268, 826282X (2012).

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Материалы XXVI Международного симпозиума

Нижний Новгород, 14–17 марта 2022 г.

Том 2: секция 3

В авторской редакции

Институт физики микроструктур РАН
603950, Нижний Новгород, ГСП-105, Россия
Тел.: (831) 4179482 +262, (831) 4179476+520, факс: (831) 4179464
e-mail: symp@nanosymp.ru, Internet: nanosymp.ru

Формат 60×90 1/8.
Гарнитура «Times». Усл. печ. л. 60,6. Заказ № 609.

Подготовка электронной версии: *М.Л. Тимошенко, В.В. Шеина*

Отдел дизайна РИУ ННГУ им. Н.И. Лобачевского
603000, г. Нижний Новгород, ул. Б. Покровская, 37
Тел. (831) 433-83-25