300 Лет
Российская Академия Наук

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Труды XXVIII Международного симпозиума

11–15 марта 2024 года

Том 2

Нижний Новгород
2024

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Труды XXVIII Международного симпозиума

11–15 марта 2024 г., Нижний Новгород

Том 2

Секция 3
Полупроводниковые наноструктуры: электронные, оптические свойства, методы формирования

Секция 4
Измерения и технологии атомарного и нанометрового масштаба на основе зондовых, электронно-лучевых и ионно-лучевых методов

Секция 6
Твердотельная элементная база квантовых технологий

Нижний Новгород
ИПФ РАН
2024

УДК 538.9(063)
ББК 22.37я431
32.844.2я431
Н-25
Нанофизика и наноэлектроника. Труды XXVIII Международного симпозиума (*Нижний Новгород, 11–15 марта 2024 г.*).
Н-25 В 2 томах. Том 2-й. — Нижний Новгород : ИПФ РАН, 2024. — 492 с.
ISBN 978-5-8048-0124-4

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»

Программный комитет

А. В. Акимов, к.ф.-м.н.	РКЦ, ФИАН им. П. Н. Лебедева РАН, Москва
А. Ю. Аладышкин, д.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, Черноголовка
В. А. Бушуев, д.ф.-м.н.	МГУ им. М. В. Ломоносова, 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, Нижний Новгород
С. В. Гапонов, академик РАН	ИФМ РАН, Нижний 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. Зайцев-Зотов, д.ф.-м.н.	ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, Москва
С. В. Иванов, д.ф.-м.н.	ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
Е. Л. Ивченко, чл.-корр. РАН	ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
В. В. Кведер, академик РАН	ИФТТ РАН, Черноголовка
З. Ф. Красильник, чл.-корр. РАН	ИФМ РАН, Нижний Новгород, председатель
И. В. Кукушкин, академик РАН	ИФТТ РАН, Черноголовка
В. Д. Кулаковский, академик РАН	ИФТТ РАН, Черноголовка
А. В. Латышев, академик РАН	ИФП СО РАН им. А. В. Ржанова, Новосибирск
А. С. Мельников, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
М. А. Миляев, д.ф.-м.н.	ИФМ УрО РАН им. М. Н. Михеева, Екатеринбург
В. Л. Миронов, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
С. В. Морозов, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
С. А. Никитов, чл.-корр. РАН	ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, Москва
А. В. Новиков, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
Д. В. Рощупкин, д.ф.-м.н.	ИПТМ РАН, Черноголовка
В. В. Рязанов, д.ф.-м.н.	ИФТТ РАН, Черноголовка
А. В. Садовников, к.ф.-м.н.	СГУ им. Н. Г. Чернышевского, Саратов
Н. Н. Салащенко, чл.-корр. РАН	ИФМ РАН, Нижний Новгород
М. В. Сапожников, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
А. А. Саранин, чл.-корр. РАН	ИАПУ ДВО РАН, Владивосток
Д. А. Татарский, к.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород, учёный секретарь
Ю. А. Филимонов, д.ф.-м.н.	Саратовский филиал ИРЭ РАН, Саратов
А. А. Фраерман, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
Д. Р. Хохлов, чл.-корр. РАН	МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва
А. В. Чаплик, академик РАН	ИФП СО РАН им. А. В. Ржанова, Новосибирск
Н. И. Чхало, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
Т. В. Шубина, д.ф.-м.н.	ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

Организационный комитет

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

ISBN 978-5-8048-0124-4
ББК 22.37я431
32.844.2я431
© ИПФ РАН, 2024
© ИФМ РАН, 2024

Влияние подсветки на адмиттансные характеристики МДП-структур на основе nBn со сверхрешеткой в барьерной области

А. В. Войцеховский[1,*], С. М. Дзядух[1], Д. И. Горн[1], С. А. Дворецкий[1,2], Н. Н. Михайлов[1,2], Г. Ю. Сидоров[2], М. В. Якушев[2]

[1]Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, Томск, 634050
[2]Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, пр. Лаврентьева, 13, Новосибирск, 630090
*vav43@mail.tsu.ru

В работе в широком диапазоне условий проведено исследование влияния постоянной ИК-подсветки на адмиттансные характеристики МДП-структуры, на основе nBn из $Hg_{1-x}Cd_xTe$, выращенных методом МЛЭ со сверхрешеткой в барьерной области. Определено влияние постоянной ИК-подсветки на зависимости емкости и дифференциальной проводимости от напряжения смещения на различных частотах тестового сигнала.

Введение

Фундаментальные свойства твердого раствора $Hg_{1-x}Cd_xTe$ делают его одним из основных материалов для создания высокочувствительных ИК-детекторов, действующих в окнах прозрачности атмосферы 3–5 мкм и 8–12 мкм. Создание униполярных барьерных структур на основе узкозонного $Hg_{1-x}Cd_xTe$ методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) позволяет повысить рабочую температуру детекторов и дает технологические преимущества [1]. С возникающим на границах раздела между широкозонным барьерным слоем и слоями *n*-типа в валентной зоне потенциальным барьером для неосновных носителей заряда, препятствующим их свободному потоку, теоретически обосновывается замена объемного барьера структурой на основе сверхрешетки CdTe-HgTe, что позволит минимизировать барьер для неосновных носителей заряда [2]. Но, несмотря на то что уже предпринимаются практические попытки создания подобных структур [3, 4], предстоит еще пройти большой путь развития технологий и проведения многочисленных экспериментов, прежде чем теоретические предпосылки воплотятся в практическое решение.

Результаты

В широком температурном диапазоне проведено исследование влияния постоянной фоновой ИК-подсветки на адмиттансные характеристики структуры МДП, в качестве полупроводника в которой использовалась nBn-структура на основе эпитаксиальных слоев $Hg_{1-x}Cd_xTe$, выращенных методом МЛЭ со сверхрешеткой в барьерной области (nB(SL)n-структура). Содержание CdTe в контактном и поглощающем слоях составляло $x = 0{,}32$, в процессе роста контактного слоя производилось дополнительное легирование его индием. Сверхрешетка в барьерном слое представляла чередующиеся между собой 16 барьеров по 3,38 нм ($x = 0{,}82$), 15 ям по 1,7 нм ($x = 0{,}18$). Структуры выращивались на установке МЛЭ «Обь-М» (ИФП СО РАН, г. Новосибирск) на подложках из GaAs толщиной 600 мкм. В качестве буферных слоев производилось нанесение ZnTe и CdTe толщинами ~0,03 мкм и 5,6 мкм соответственно. Создание диэлектрического слоя и пассивация поверхностей структур проводились методом атомно-слоевого осаждения Al_20_3. Контакты создавались напылением индия. Измерения проводились в гелиевом криостате замкнутого цикла, способном стабилизировать температуру образца в диапазоне 12–475 К не хуже чем 0,2 К. Подсветка образца производится ИК-светодиодом с длиной волны 940 нм со стороны подложки. Светодиод находился при комнатной температуре, а протекающий через него ток стабилизировался лабораторным источником питания.

На рис. 1 представлены ВФХ структуры, измеренные при температуре 77 К в темновом режиме и при наличии постоянной подсветки на различных частотах переменного сигнала. При данной температуре кривые имеют строго низкочастотный вид относительно времени формирования инверсионного слоя до частоты примерно 20 кГц. Из рисунка видно, что данная структура обладает довольно сильной частотной дисперсией емкости в режиме обогащения. Особенно сильно это проявляется на частотах ниже 10 кГц.

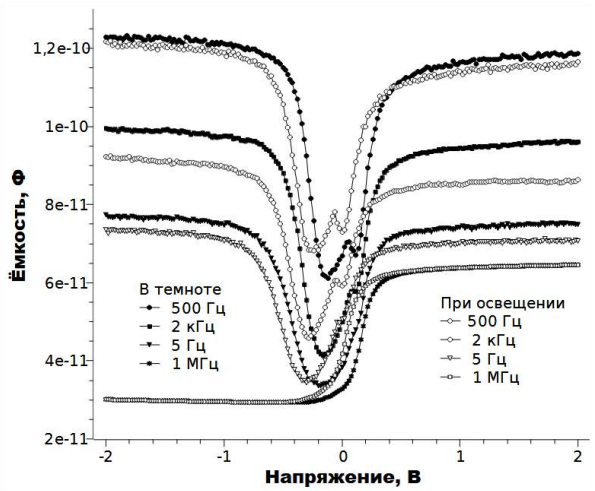

Рис. 1. ВФХ структуры, измеренные на различных частотах при температуре 77 К в темновом режиме и при воздействии постоянной подсветки

На всех частотах, на которых проявляется низкочастотный вид ВФХ, емкость в режиме обогащения ниже, чем емкость в режиме сильной инверсии, что может свидетельствовать о влиянии на измеряемую емкость вырождения.

На низких частотах на границе режимов обеднения – слабой инверсии на ВФХ – имеется четкий максимум емкости, вероятнее всего связанный с высокой плотностью поверхностных состояний, локализованных вблизи середины запрещенной зоны, что также подтверждается наличием максимума на зависимости дифференциальной проводимости структуры от напряжения смещения (рис. 2). Из рис. 2 видно, что наибольшее влияние подсветка имеет в узком диапазоне напряжений примерно от –0,3 В до 0,1 В.

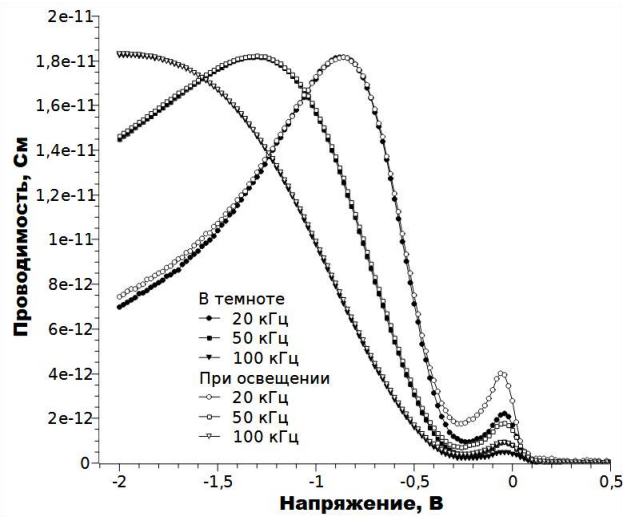

Рис. 2. Зависимости дифференциальной проводимости от напряжения структуры, измеренные на различных частотах при температуре 77 К в темновом режиме и при воздействии постоянной подсветки

Следует также отметить, что данная структура обладает малым гистерезисом при измерении прямой и обратной развертки, что характерно для структур без приповерхностного варизонного слоя.

При включении постоянной ИК-подсветки емкость структуры на низких частотах уменьшается в режимах обогащения и сильной инверсии, а уровень емкости в режимах обеднения и слабой инверсии наоборот повышается. Повышение емкости в данном случае, вероятно, связано с уменьшением времени перезарядки ПС при наличии постоянной подсветки и увеличение их вклада в измеряемую емкость.

На рис. 3 изображены зависимости от частоты переменного тестового сигнала продольного сопротивления объема эпитаксиальной пленки и емкости в обогащении при последовательной схеме замещения, измеренные в темновом режиме и при наличии постоянной подсветки.

Из рисунка видно, что при температуре 77 К при наличии постоянной подсветки на низких частотах происходит снижение уровня емкости в обогащении. Влияние постоянной подсветки на продольное сопротивление при этом не однозначно. На низких частотах сопротивление объема увеличивается при наличии подсветки, а на высоких – уменьшается (см. рис. 3). Существенное влияние постоянной подсветки на емкость структуры проявляется при низких температурах, и при повышении температуры до 120 К ее влияние практически исчезает.

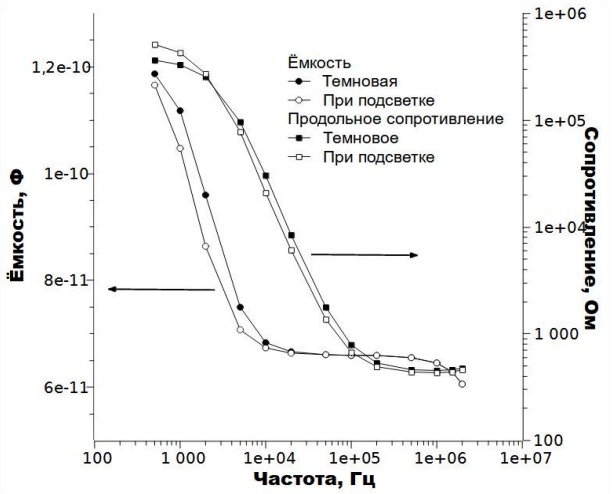

Рис. 3. Частотные зависимости продольного сопротивления объема эпитаксиальной пленки и емкости в обогащении в темноте и при наличии постоянной подсветки при температуре 77 К

Выводы

В результате проделанной работы в темновом режиме и при наличии постоянной подсветки исследованы адмиттансные характеристики МДП-структуры, в которой использовалась nBn-структура на основе эпитаксиальных слоев $Hg_{1-x}Cd_xTe$ выращенная методом МЛЭ со сверхрешеткой в барьерной области. По результатам исследования выявлено наличие большой плотности поверхностных состояний, локализованных вблизи середины запрещенной зоны. Определено влияние постоянной ИК-подсветки на зависимости емкости и дифференциальной проводимости от напряжения смещения на различных частотах тестового сигнала в широком диапазоне температур. При помощи метода эквивалентных схем проведен анализ влияния постоянной ИК-подсветки на отдельные элементы структуры. Обнаружено, что наличие постоянной подсветки приводит к уменьшению емкости в режимах сильной инверсии и обогащения, данный эффект исчезает при температурах выше 120 К.

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-62-10021.

Литература

1. A. V. Voitsekhovskii, et al. // J. Electron. Mater. 50 (2021).
2. N. D. Akhavan, et al. // IEEE Trans. Electron. Dev. 63 (2016).
3. D. Benyahia, et al. // Opt. Quant. Electron. 48 (2016).
4. I. I. Izhnin, et al. // Applied Nanoscience. 10 (2020).