

УДК 621.315.592
DOI: 10.51368/1996-0948-2023-4-78-86
EDN: TWMVJZ

PACS: 73.40QV, 73.21AS,
85.60GZ, 73.61GA



Компоненты темнового тока $nB(SL)n$ -структур на основе $HgCdTe$ для широкого диапазона напряжений смещения

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

Представлены результаты исследований темновых токов $nB(SL)n$ -структур со сверхрешёткой (СР) в барьерной области на основе $Hg_{1-x}Cd_xTe$, выращенного методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), в широком диапазоне условий проведения эксперимента. Темновые токи измерялись в диапазоне температур от 11 К до 300 К для мезоструктур с различными диаметрами поперечного сечения. Определены температурные зависимости объемной компоненты плотности темнового тока и плотности тока поверхностной утечки. Показано, что в исследованных структурах вольт-амперные характеристики (ВАХ) формируются как объемной, так и поверхностной составляющими тока в зависимости от температуры и напряжения смещения.

Ключевые слова: $Hg_{1-x}Cd_xTe$, nBn -структура, сверхрешётка, электрические характеристики, темновые токи.

Введение

Среди актуальных фундаментальных задач при разработке униполярных фоточувствительных барьерных структур на основе МЛЭ $Hg_{1-x}Cd_xTe$ можно выделить формирование эффективного барьера для основных носителей заряда в зоне проводимости для снижения темновых токов, устранение энергетического барьера в валентной зоне в структурах на основе $n-HgCdTe$ для повышения квантовой эффективности и чувствительности, а также напрямую связанную с ними задачу анализа каналов протекания темнового тока.

Как было показано ранее (см., например, [1]), ни один из «классических» подходов, направленных на решение первых двух задач, к настоящему моменту не позволил снизить барьер для неосновных носителей заряда (дырок) до величин, обеспечивающих приемлемые значения чувствительности структуры при одновременном сохранении эффективности блокирования основных носителей заряда (электронов) в зоне проводимости, обеспечивающем низкие значения темнового тока. Применение методов зонной инженерии (сложные профили легирующей примеси, использование слоёв с переменным составом на

Войцеховский Александр Васильевич¹, гл.н.с., д.ф.-м.н.

E-mail: vav43@mail.tsu.ru

Дзядух Станислав Михайлович¹, н.с., к.ф.-м.н.

E-mail: bonespirit@mail2000.ru

Горн Дмитрий Игоревич¹, зав. лаб., к.ф.-м.н.

E-mail: gorn.di@gmail.com

Дворецкий Сергей Алексеевич², в.н.с., к.ф.м.н.

E-mail: dvor@isp.nsc.ru

Михайлов Николай Николаевич², с.н.с., к.ф.-м.н.

E-mail: mikhailov@isp.nsc.ru

Сидоров Георгий Юрьевич², зам. директора, к.ф.-м.н.

E-mail: george@isp.nsc.ru

Якушев Максим Витальевич², зам. директора, д.ф.-м.н.

E-mail: yakushev@isp.nsc.ru

¹ Томский государственный университет.

Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

² Институт физики полупроводников СО РАН

им. А. В. Ржанова.

Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. академика

Лаврентьева, 13.

Статья поступила в редакцию 6.08.2023

Принята к публикации 14.08.2023

© Войцеховский А. В., Дзядух С. М., Горн Д. И., Дворецкий С. А., Михайлов Н. Н., Сидоров Г. Ю., Якушев М. В., 2023

интерфейсах, дельта-легированных слоёв и пр.), а также оптимизация параметров слоёв nVn -структуры (стехиометрический состав, толщина, легирование) и подбор оптимального значения напряжения смещения не привели к желаемым результатам. Количество подобных работ в литературе систематически снижается уже несколько лет, что, с одной стороны, связано с тем, что параметрическая оптимизация $HgCdTe$ nVn -структур исчерпала свои возможности в теоретических работах, а, с другой стороны, связано с малым количеством и не системным характером экспериментальных работ, связанных с изготовлением реальных структур nVn $HgCdTe$ методом МЛЭ и изучением их свойств. Экспериментальные работы по изучению МЛЭ nVn -структур $HgCdTe$ в мировой научной литературе практически отсутствуют, кроме работ, проводимых авторами данной статьи. Несмотря на это, авторы одного из последних обзоров достижений nVn инфракрасных детекторов [2] делают вывод о том, что для случая $HgCdTe$ технология барьерных детекторов является самой многообещающей для достижения рабочих температур, близких к комнатным.

Ещё одним подходом, не исчерпавшим свой потенциал как в теоретическом, так и в экспериментальном аспектах, является применение сверхрешёточных структур в качестве барьерного слоя nVn -структур на основе МЛЭ $HgCdTe$ ($nB(SL)n$ -структуры). Несмотря на незначительное число работ, посвящённых этой теме, можно с уверенностью заключить, что перспектива создания барьера на основе сверхрешётки, эффективно блокирующего ток электронов и не препятствующая протеканию дырочного тока, является теоретически обоснованной.

Впервые было предложено использовать сверхрешётку в качестве барьерного слоя для устранения энергетического барьера для неосновных носителей заряда группой из Польши в 2015 году [3]. Экспериментальные образцы, исследуемые в работах данной группы, выращивались преимущественно методом MOCVD на установке Aixtron AIX-200. Исследования структур со сверхрешётками носили исключительно теоретический характер, что связано с тем, что технология MOCVD не может обес-

печить изготовление таких экспериментальных структур. Только в одной работе данной группы приводятся результаты измерения темнового тока структуры со сверхрешёткой $HgTe/CdTe$ в качестве барьерного слоя при температуре 155 К. Экспериментальная структура при этом была выращена методом МЛЭ в The University of Western Australia [4]. В работе [3] авторами были проведены первые теоретические расчёты энергетических диаграмм фоточувствительных структур с составами поглощающих слоёв $x = 0,315$ (MWIR) и $x = 0,235$ (LWIR) со сверхрешётками $HgTe/Hg_{0,05}Cd_{0,95}Te$ в качестве барьера. Было продемонстрировано, что варьирование толщиной квантовых ям сверхрешётки позволяет управлять положениями краёв энергетических зон в барьере и свести к нулю величину разрывов энергетических зон на гетерограницах «барьер-поглощающий слой» и «коллекторный слой-барьер». Моделирование проводилось при температуре 80 К и при нулевом смещении. Необходимость использования подобного подхода была мотивирована тем, что альтернативный способ устранения барьера для дырок в барьерной структуре на основе n - $HgCdTe$ – создание барьерного слоя p -типа – приводил к возрастанию темнового тока за счёт вклада генерационно-рекомбинационных механизмов Шокли-Рида-Холла из-за наличия анизотропных гетерограниц. Авторы отмечают перспективность использования сверхрешёток в качестве барьера в nVn -структурах на основе $HgCdTe$.

Данные исследования были продолжены в работах [4, 5], в которых этой же группой авторов исследовались аналогичные структуры со сверхрешётками $HgTe(HgCdTe)/CdTe$ при температуре 150–155 К при наличии внешнего смещения. Толщина ям в рассматриваемой сверхрешётке составляла величину 2,5 нм, а толщина барьера 9 нм. Авторами была рассчитана зависимость темнового тока и обнаружительной способности от прикладываемого напряжения для температуры 155 К, а также проведено измерение зависимости темнового тока от напряжения. Авторы делают вывод о том, что использование сверхрешётки в качестве барьера является перспективным методом устранения потенциального барьера для неосновных носителей заряда.

Значительное развитие концепции применения сверхрешёток в качестве барьера при реализации барьерных фоточувствительных структур на основе HgCdTe внесла группа учёных из The University of Western Australia. В работе [6], являющейся на текущий момент завершающей публикацией цикла работ [6–8], посвящённых теоретическому исследованию барьерных структур HgCdTe со сверхрешётками, приводится серия квантово-механических расчётов энергетических спектров сверхрешётки HgTe/CdTe, на основании которых проводится её оптимизация по толщинам ям и барьеров, а также по числу периодов с целью минимизации темнового тока. Оптимальной с точки зрения авторов является сверхрешётка с толщиной барьеров из CdTe 1,3 нм, толщиной ям из HgTe 3,7 нм и количеством периодов более 12. Теоретически авторы демонстрируют преимущество использования в качестве барьера сверхрешётки с заданными свойствами по сравнению с однородным широкозонным барьером. Однако работы этой группы носят исключительно теоретический характер, и экспериментальных данных в их публикациях не приводилось.

В работе [9] была описана изготовленная тестовая барьерная гетероструктура со сверхрешёткой из 18 периодов $\text{Hg}_{0,20}\text{Cd}_{0,80}\text{Te}$ (9 нм) / HgTe (2 нм) и проведены измерения её ВАХ и температурной зависимости плотности темнового тока. Темновые ВАХ исследованной структуры имели симметричную форму, что обусловлено тем, что темновой ток в данной структуре ограничен током поверхностной утечки. Это подтверждалось также и слабой температурной зависимостью плотности тока в данной структуре. Анализ данной гетероструктуры был проведён методом спектроскопии адмиттанса в конфигурации металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), который позволяет выявлять доминирующие механизмы токопереноса. При этом другой образец, исследованный в данной работе, имевший однородный широкозонный барьер с составом 0,84 мол. дол., продемонстрировал существенно меньшие значения темнового тока, поскольку, как показал анализ характеристик МДП-структуры на его основе, в нём объёмная компонента тока превалирует над поверхностной. Данный факт по мнению авторов наглядно демонстрирует необходи-

мость решения проблемы эффективной пассивации поверхности подобных гетероструктур.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию и анализу компонент темновых токов $n\text{B}(\text{SL})n$ -структур со сверхрешёткой в барьерной области на основе $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, выращенного МЛЭ, в широком диапазоне условий проведения эксперимента.

Образцы и методики эксперимента

Эпитаксиальные пленки $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ выращивались на установке молекулярно-лучевой эпитаксии «Обь-М» в ИФП СО РАН (г. Новосибирск). Фоточувствительные структуры на основе эпитаксиальных плёнок представляют собой последовательность из поглощающего n -слоя с содержанием CdTe в $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ $x = 0,32$ толщиной около 4 мкм, барьерного слоя со сверхрешёткой, содержащего 11 барьеров и 10 ям и контактный n -слой толщиной около 300 нм. Содержание CdTe в контактном слое варьировалось от $x = 0,32$ до $x = 0,45$, дополнительно в процессе роста в контактный слой внедрялась легирующая примесь индия с концентрацией $1,0 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Толщина барьеров для всех изготовленных образцов составляла величину около 2,5 нм. Ширины ям для одного типа образцов составляли величину 10,0 нм, а для другого типа 3,2 нм. В процессе выращивания структур варьировались скорости роста эпитаксиальных слоев, а для перестройки режимов роста присутствовали технологические остановки. Физические параметры эпитаксиальных плёнок приводятся в таблице.

После окончания процесса выращивания для создания отдельных структур эпитаксиальные пленки подвергались химическому травлению в 0,5 % растворе Вг в HBr через специальную маску, при этом в местах не прикрытых маской полностью стравливались контактный слой и слои сверхрешётки. Поглощающий слой при этом оставался практически не тронутым. После этого вся структура покрывалась пассивирующим слоем Al_2O_3 , который наносился при температуре 120°C путем плазменного атомно-слоевого осаждения. В пассивирующем покрытии вскрывались окна для напыления индиевых контактов к контактному слою для каждой структуры и поглощающему слою. Температура напыления In не превышала 100°C .

Таблица

Физические параметры эпитаксиальных пленок

Номер пленки	Примерное содержание CdTe в слоях			Ширина ямы / барьера / СР, нм	Легирующая примесь In в контактном слое
	Контактный и поглощающий	СР			
		Барьеры	Ямы		
1	0,32	0,70	0,05	10 / 2,5 / 127,5	$1 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$
2	0,32	0,75	0,05	3,2 / 2,5 / 59,5	
3	0,32	0,70	0,00	3,2 / 2,5 / 59,5	
4	0,32	0,72	0,05	10 / 2,5 / 127,5	

Для исследования влияния тока поверхностной утечки на характеристики структур для каждой эпитаксиальной пленки были изготовленные структуры с различными диаметрами поперечного сечения от 0,50 мм до 0,02 мм. Исследования проводились на автоматизированной установке температурной спектроскопии адмиттанса полупроводниковых наногетероструктур. В состав установки входят измерительные приборы, криогенная система термостатирования и система вакуумирования. Установка способна длительное время поддерживать стабильную температуру образца в диапазоне от 11 К до 375 К с точностью термостатирования не хуже чем 0,2 К. Диапазон возможных подаваемых напряжений смещения составляет от -40 В до +40 В. Система вакуумирования способствует устранению излишнего теплообмена криостата с окружающей средой и устраняет возможность конденсации газов и водяного пара на поверхности исследуемого образца. Знак напряжения

определялся знаком приложенного напряжения к контактному слою.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 изображены зависимости плотностей тока от напряжения для структур № 1–4 при температуре 80 К. Из рисунка видно, что наименьшей плотностью тока во всем диапазоне исследованных напряжений обладает структура № 4. Для остальных исследованных структур нет однозначной зависимости, например для структуры № 1 при малых положительных напряжениях плотность тока меньше плотности тока структур № 2 и № 3, а при отрицательных напряжениях структура № 1 обладает наибольшей плотностью тока из всех четырех структур. Температурные зависимости плотностей тока при напряжении -1 В приведены на рисунке 2. Из рисунка видно, что при напряжении -1 В наибольшей плотностью тока во всем исследованном температурном диапазоне обладает структура № 1.

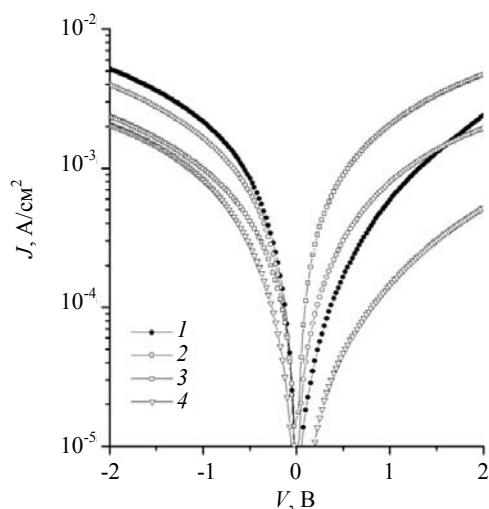


Рис. 1. Зависимости плотностей тока от напряжения для структур № 1–4 при температуре 80 К и диаметре структур 0,25 мм

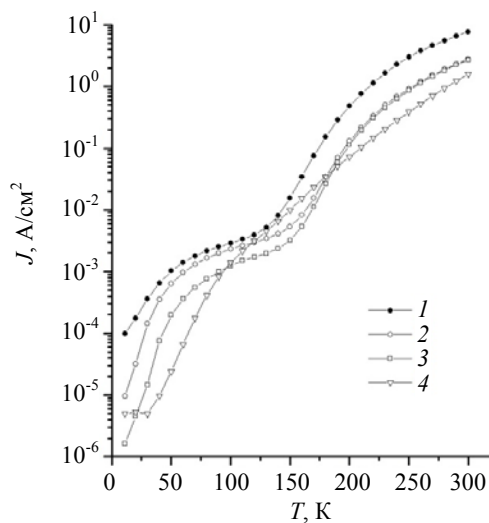


Рис. 2. Зависимость плотности тока от температуры для структур № 1–4 при напряжении -1,0 В при диаметре структур 0,25 мм

Результаты измерения плотностей токов структур с различными диаметрами позволили выделить из общей плотности тока объемную компоненту тока и ток поверхностной утечки. На рисунке 3 изображены зависимости плотности тока от отношения периметра структуры к её площади (отношение P/A) при температуре 200 К и двух напряжениях смещения +0,5 В и -0,5 В для структуры № 1. Видно, что при данной температуре при отрицательных напряжениях в общей плотности темного тока превалирует компонента тока поверхностной утечки, которая составляет величину $2,2 \times 10^{-3}$ А/см. При положительных напряжениях смещения вклады обеих компонент темного тока соизмеримы, при этом плотность тока поверхностной утечки примерно в три раза ниже и составляет величину $J_{\text{surf}} = 7,6 \times 10^{-4}$ А/см при величине объемной компоненты тока, равной $J_{\text{bulk}} = 1,9 \times 10^{-2}$ А/см². В отличие от структуры № 1 структура № 4 при температуре 200 К имеет близкие значения плотностей токов поверхностной утечки при положительных и отрицательных напряжениях, например, при напряжении 0,5 В $J_{\text{surf}} = 4,739 \times 10^{-4}$ А/см, а при напряжении -0,5 В $J_{\text{surf}} = 4,613 \times 10^{-4}$ А/см. При значительно более низкой общей плотности темного тока при температуре 200 К для структуры № 4,

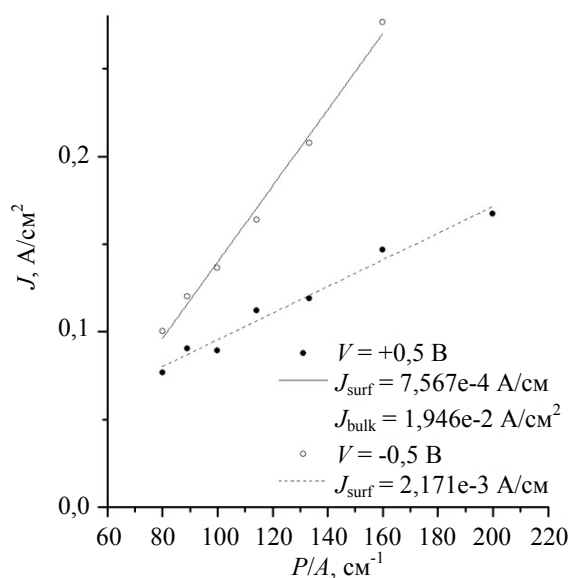


Рис. 3. Зависимости плотности тока от отношения P/A для структуры № 1 при температуре 200 К и напряжениях смещения $V = +0,5$ В и $-0,5$ В

объемная компонента плотности темного тока не может быть выделена ни при положительных, ни при отрицательных напряжениях смещения.

На рисунке 4 представлены зависимости плотностей объемной и поверхностной компонент тока от температуры при напряжении 0,5 В. Из рисунка видно, что при низких температурах (примерно до 80 К) определяющую роль играет объемная компонента тока через структуру. При этом определение компоненты тока поверхностной утечки становится невозможным. С увеличением температуры плотность тока поверхностной утечки растет существенно быстрее, чем объемная компонента, что приводит к её определяющей роли в общей плотности темного тока при температурах свыше 200 К. При сравнении со структурой № 4 видно, что для неё характерно доминирование тока поверхностной утечки во всем исследованном диапазоне температур, который при увеличении температуры от 11 К до 300 К растёт со значения $2,2 \times 10^{-7}$ А/см до $1,4 \times 10^{-2}$ А/см при напряжении смещения 0,5 В. При этом плотность объемной компоненты тока для структуры № 4 может быть выделена лишь в узком диапазоне температур и при температуре 120 К составляет величину $3,5 \times 10^{-5}$ А/см² при напряжении 0,5 В.

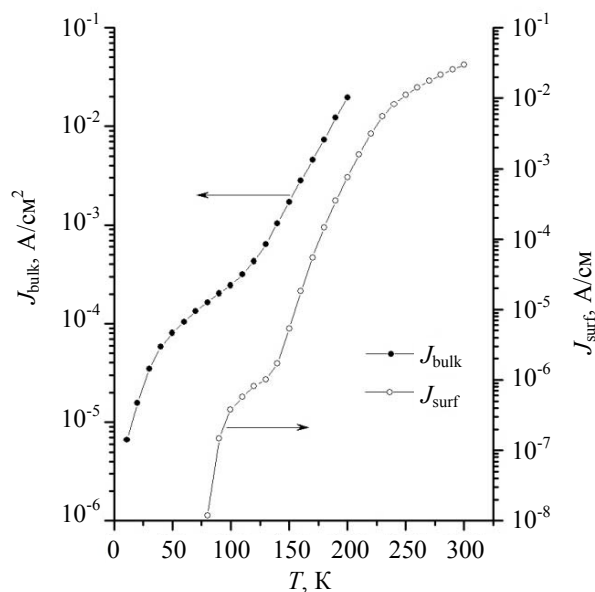


Рис. 4. Зависимости плотностей объемной и поверхностной компонент тока от температуры для структуры № 1 при напряжении $V = +0,5$ В. Структура № 1

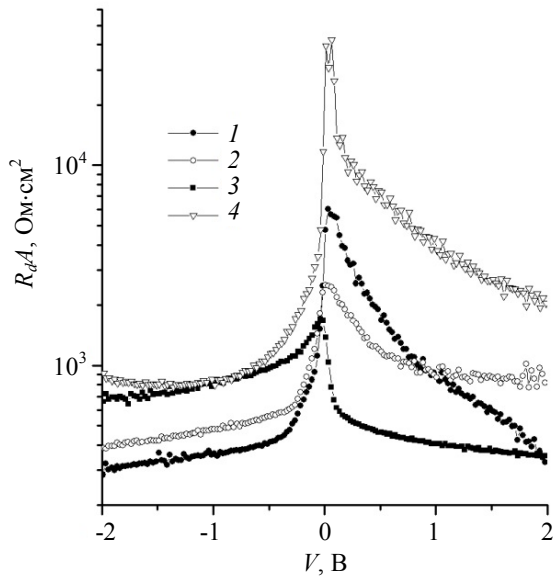


Рис. 5. Зависимость произведения дифференциального сопротивления на площадь поперечного сечения структур № 1–4 от напряжения смещения при температуре 80 К

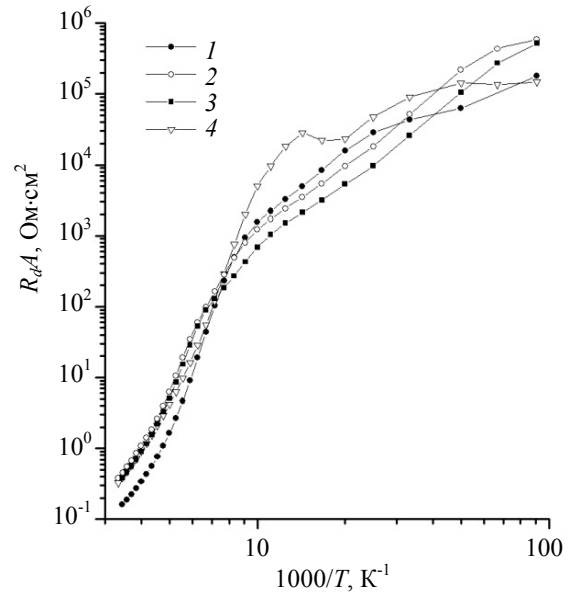


Рис. 6. Зависимость произведения дифференциального сопротивления при нулевом смещении на площадь поперечного сечения структур № 1–4

На рисунке 5 приведены зависимости дифференциального сопротивления исследованных структур от напряжения смещения при температуре 80 К. Из рисунка видно, что максимальное значение сопротивления наблюдается вблизи нуля напряжений, а увеличение модуля напряжения приводит к его снижению. Причем для структур № 2 и № 4 дифференциальное сопротивление при отрицательных смещениях значительно ниже, чем при положительных, а для структуры № 3 наблюдается обратная картина. Структура № 1 при напряжениях +2 В и -2 В имеет сравнимые значения дифференциального сопротивления, при резко несимметричном характере спада сопротивления при положительных и отрицательных напряжениях.

На рисунке 6 приведены зависимости произведений дифференциального сопротивления при нулевом смещении на площадь поперечного сечения структуры (R_0A). Из приведенных на рисунке данных видно, что температурные зависимости для структур № 2 и № 3 качественно схожи между собой, при этом значение R_0A для структуры № 2 выше, чем для структуры № 3 во всем диапазоне исследованных температур. Поведение температурных зависимостей R_0A для структур № 1 и № 4 неоднозначное. При низких температурах они обладают значениями R_0A меньшими, чем

для структур № 2 и № 3. В области высоких температур структура № 1 имеет наименьшее значение R_0A . Однако, в середине температурного диапазона R_0A для структур № 1 и № 4 выше, чем для структур № 2 и № 3, а для структуры № 4 R_0A принимает максимальные значения в диапазоне температур от 30 К до 130 К.

При температуре 200 К строились зависимости плотности тока $nB(SL)n$ -структуры от отношения периметра к площади структуры (рис. 7). При напряжении 0,5 В плотность тока поверхностной утечки для различных структур находилась в диапазоне ($4,5 \times 10^{-4}$ – $8,9 \times 10^{-4}$) А/см. Структуры 1 и 2 имеют достаточно близкие по величине значения плотностей тока поверхностной утечки, а минимальным значением обладает структура 4.

Из зависимости плотности тока от температуры для структур № 1–4 построены графики Аррениуса при напряжении смещения 0,5 В, приведенные на рисунке 8. Из рисунка видно, что для структур № 2–4 зависимости хорошо спрямляются в диапазоне температур 200–275 К, и лишь зависимость для структуры № 1 имеет несколько изогнутый вид. По углу наклона аппроксимирующей прямой данных зависимостей определены энергии активации процесса, участвующего в увеличении плотности тока с ростом температуры. Для всех

исследованных образцов величины энергий находились в диапазоне 288–353 мэВ, харак-

терной для ширины запрещенной зоны (E_g) образцов в контактном слое структуры.

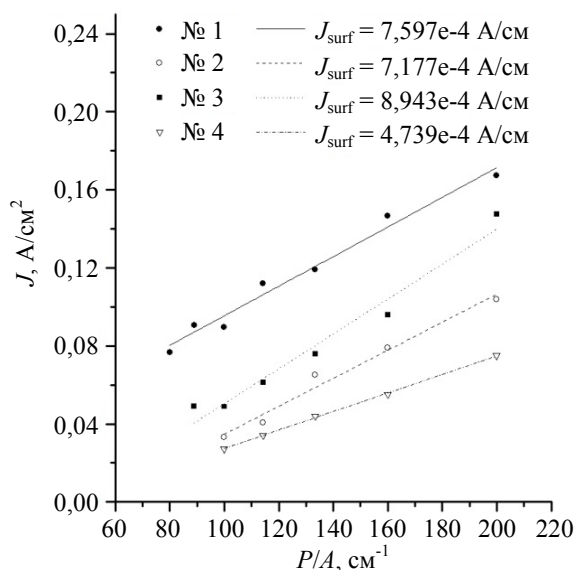


Рис. 7. Зависимости плотности тока от отношения периметра к площади структуры при температуре 200 К и напряжении смещения 0,5 В

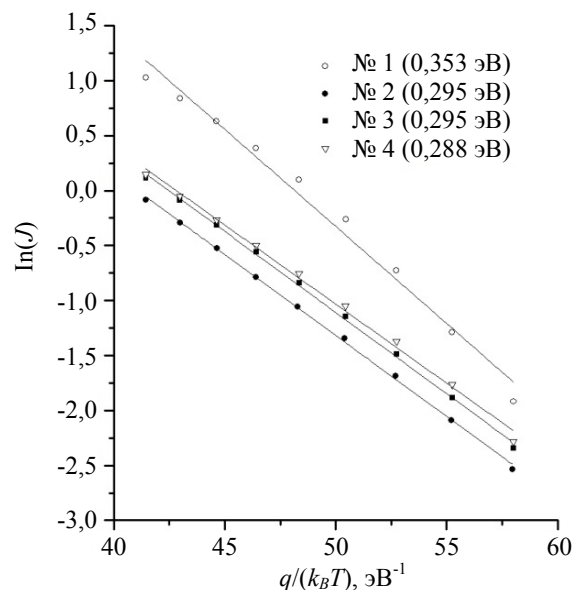


Рис. 8. Графики Аррениуса для структур № 1–4 при напряжении смещения 0,5 В

Заключение

В работе представлены результаты исследований темновых токов $nB(SL)n$ -структур со сверхрешёткой в барьерной области на основе МЛЭ $Hg_{1-x}Cd_xTe$ в широком диапазоне условий проведения эксперимента. Темновые токи измерялись в диапазоне температур от 11 К до 300 К для структур с различными диаметрами поперечного сечения. Определены температурные зависимости объемной компоненты плотности темнового тока и плотности тока поверхностной утечки. Показано, что в исследованных структурах вольт-амперные характеристики формируются как объемной, так и поверхностной составляющими тока в зависимости от температуры и напряжения смещения. Построены температурные зависимости произведения дифференциального сопротивления при нулевом смещении на площадь поперечного сечения для различных структур. Значение R_0A при температуре 11 К для исследованных образцов находятся в диапазоне от 1×10^{-4} Ом·см² до 8×10^{-4} Ом·см², и снижаются на 5 порядков при увеличении температуры до 300 К. Показано,

что графики Аррениуса построенные из зависимостей плотности тока от температуры при напряжении смещения 0,5 В для структур № 2–4 хорошо спрямляются в диапазоне температур 200–275 К. Определены энергии активации процесса, участвующего в увеличении плотности тока с ростом температуры, которые для всех исследованных образцов величины энергий находились в диапазоне 288–353 мэВ, которые хорошо согласуются со значением ширины запрещенной зоны (E_g) образцов в контактном слое структуры.

Исследование выполнено за счет гранта
Российского научного фонда № 23-62-10021,
<https://rscf.ru/project/23-62-10021/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Voitsekhovskii A. V., Nesmelov S. N., Dzyadukh S. M., Gorn D. I., Dvoretzky S. A., Mikhailov N. N., Sidorov G. Y. / Ch. 6. II-VI Semiconductor-Based Unipolar Barrier Structures for Infrared Photodetector Arrays in Handbook of II-VI Semiconductor-Based Sensors and Radiation Detectors. – Cham: Springer, 2023. P. 135–154.

2. Shi Q., Zhang S.-K., Wang J.-L., Chu J.-H. / J. Infrared Millim. Waves. 2022. Vol. 41. № 1. P. 139–150.
3. Kopytko M., Wrobel J., Jozwikowska K., Rogalski A., Antoszewski J., Akhavan N. D., Umana-Membreno G. A., Faraone L., Becker C. R. / Journal of Electronic Materials. 2015. Vol. 44. № 1. P. 158–166.
4. Benyahia D., Martyniuk P., Kopytko M., Antoszewski J., Gawron W., Madejczyk P., Rutkowski J., Gu R., Faraone L. / Opt Quant Electron. 2016. Vol. 48. P. 215.
5. Benyaya J., Martyniuk P., Kopytko M., Antoszewski J., Gawron W., Madejczyk P. / IEEE Xplore, 2015 International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD). – Taipei, Taiwan, 2015. P. 179–180.
6. Akhavan N. D., Umana-Membreno G. A., Gu R. / IEEE Transactions On Electron Devices. 2018. Vol. 65. № 2. P. 591–598.
7. Akhavan N. D., Umana-Membreno G. A., Antoszewski J., Faraone L. / IEEE Xplore. 2016 International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD). – Sydney, NSW, Australia, 2016. P. 119–120.
8. Akhavan N. D., Umana-Membreno G. A., Gu R., Asadnia M., Antoszewski J., Faraone L. / IEEE Transactions On Electron Devices. 2016. Vol. 63. № 12. P. 4811–4818.
9. Izhnin I. I., Kurbanov K. R., Voitsekhovskii A. V., Nesmelov S. N., Dzyadukh S. M., Dvoretzky S. A., Mikhailov N. N., Sidorov G. Y., Yakushev M. V. / Applied Nanoscience. 2020. Vol. 10. P. 4571–4576.

PACS: 73.40QV, 73.21AS, 85.60GZ, 73.61GA

Dark current components of nB(SL)n structures based on HgCdTe for a wide range of bias voltages

A. V. Voitsekhovskii¹, S. M. Dzyadukh¹, D. I. Gorn¹, S. A. Dvoretzky^{1,2},
N. N. Mikhailov^{1,2}, G. Yu. Sidorov² and M. V. Yakushev²

¹National Research Tomsk State University
36 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia
E-mail: vav43@mail.tsu.ru

²A. V. Rzhanov Institute of Semiconductor Physics SB RAS
13 Lavrentieva Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

Received 6.08.2023; accepted 14.08.2023

The paper presents the results of studying the dark currents of nB(SL)n structures with a superlattice (SL) in the barrier region based on Hg_{1-x}Cd_xTe grown by molecular beam epitaxy (MBE) in a wide range of experimental conditions. Dark currents were measured in the temperature range from 11 K to 300 K for mesa structures with different cross-sectional diameters. The temperature dependences of the bulk component of the dark current density and the surface leakage current density are determined. It is shown that in the studied structures the current-voltage characteristics (CVCs) are formed by both the bulk and surface components of the current depending on the temperature and bias voltage.

Keywords: Hg_{1-x}Cd_xTe, nBn-structure, superlattice, electrical characteristics, dark currents.

DOI: 10.51368/1996-0948-2023-4-78-86

REFERENCES

1. Voitsekhovskii A. V., Nesmelov S. N., Dzyadukh S. M., Gorn D. I., Dvoretzky S. A., Mikhailov N. N. and Sidorov G. Y., Ch. 6, II-VI Semiconductor-Based Unipolar Barrier Structures for Infrared Photodetector Arrays in Handbook of II-VI Semiconductor-Based Sensors and Radiation Detectors, 2023. Cham, Springer. pp. 135–154.

2. Shi Q., Zhang S.-K., Wang J.-L. and Chu J.-H., *J. Infrared Millim. Waves* **41** (1), 139–150 (2022).
3. Kopytko M., Wrobel J., Jozwikowska K., Rogalski A., Antoszewski J., Akhavan N. D., Umana-Membreno G. A., Faraone L. and Becker C. R., *Journal of Electronic Materials* **44** (1), 158–166 (2015).
4. Benyahia D., Martyniuk P., Kopytko M., Antoszewski J., Gawron W., Madejczyk P., Rutkowski J., Gu R. and Faraone L., *Opt Quant Electron* **48**, 215 (2016).
5. Benyaya J., Martyniuk P., Kopytko M., Antoszewski J., Gawron W. and Madejczyk P., *IEEE Xplore, 2015 International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD)*. Taipei, Taiwan, 2015, pp. 179–180.
6. Akhavan N. D., Umana-Membreno G. A. and Gu R., *IEEE Transactions On Electron Devices* **65** (2), 591–598 (2018).
7. Akhavan N. D., Umana-Membreno G. A., Antoszewski J. and Faraone L. *IEEE Xplore. 2016 International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD)*. Sydney, NSW, Australia, 2016, pp. 119–120.
8. Akhavan N. D., Umana-Membreno G. A., Gu R., Asadnia M., Antoszewski J. and Faraone L., *IEEE Transactions On Electron Devices* **63** (12), 4811–4818 (2016).
9. Izhnin I. I., Kurbanov K. R., Voitsekhovskii A. V., Nesmelov S. N., Dzyadukh S. M., Dvoretzky S. A., Mikhailov N. N., Sidorov G. Y. and Yakushev M. V., *Applied Nanoscience* **10**, 4571–4576 (2020).