

УДК 621.315.592

## Исследование полной проводимости МДП-структур на основе варизонного МЛЭ $n$ -HgCdTe ( $x = 0,22—0,23$ и $0,31—0,32$ ) в широком диапазоне температур

*А. В. Войцеховский, С. Н. Несмелов, С. М. Дзядх, В. В. Васильев, В. С. Варавин, С. А. Дворецкий, Н. Н. Михайлов, В. Д. Кузьмин, В. Г. Ремесник, Ю. Г. Сидоров*

*Экспериментально исследована полная проводимость МДП-структур на основе МЛЭ  $n$ -HgCdTe в широком диапазоне частот и температур. Наличие варизонного слоя в МДП-структурах на основе  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,22—0,23$ ) приводит к эффективному подавлению процессов туннелирования через глубокие уровни. Дифференциальное сопротивление области пространственного заряда в сильной инверсии для МДП-структур на основе  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,22—0,23$  с варизонным слоем, а также  $x = 0,31—0,32$ ) ограничено процессами генерации Шокли-Рида в диапазоне температур 8—77 К.*

PACS: 73.40Qv, 73.21As, 85.60Gz, 73.61Ga.

*Ключевые слова:* МДП-структура, теллурид кадмия ртути, состав, варизонный слой, полная проводимость, область пространственного заряда, механизмы генерации носителей заряда.

### Введение

Узкозонный твердый раствор теллурид кадмия и ртути широко применяется при создании высокочувствительных инфракрасных детекторов, действующих в диапазонах окон прозрачности атмосферы 3—5 и 8—12 мкм [1, 2]. Ширина запрещенной зоны  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  зависит от состава  $x$  (содержания CdTe), что позволяет создать на основе данного материала детекторы для различных спектральных областей [1—3]. Например, для действия в спектральном диапазоне 8—12 мкм часто используется HgCdTe с составом  $x$ , близким к 0,23 (граничная длина волны  $\lambda_c = 9,47$  мкм при 77 К), а для работы в диапазоне 3—5 мкм применяется HgCdTe

с составом  $x$ , близким к 0,30 ( $\lambda_c = 5,1$  мкм при 77 К) [1, 3, 4].

Перспективным методом выращивания HgCdTe является молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ), которая позволяет выращивать пленки с заданным распределением состава по толщине эпитаксиальной пленки, что используется для оптимизации характеристик инфракрасных детекторов, например, путем создания приповерхностных варизонных слоев с повышенным содержанием CdTe [5]. Исследования свойств МДП-структур на основе варизонного МЛЭ HgCdTe пока немногочисленны [6—10]. Дополнительную информацию о процессах в МДП-структурах на основе МЛЭ HgCdTe могут дать исследования электрофизических характеристик при температурах, меньших, чем 77 К [11—13].

Целью данной работы являются экспериментальные исследования полной проводимости МДП-структур на основе варизонного МЛЭ  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,22—0,23$  и  $0,31—0,32$ ) в широком диапазоне температур (8—300 К) и анализ полученных результатов.

### Образцы и методики эксперимента

МДП-структуры для исследований изготавливались на основе  $n$ -HgCdTe, выращенного методом МЛЭ на подложках из GaAs(013). При выращивании гетероструктур с обеих сторон рабочего слоя создавались варизонные слои с повышенным компонентным составом CdTe. До нанесения диэлектрических покрытий параметры гетероструктур были измерены при помощи метода Холла и бесконтактной СВЧ-методики. Технологические и

Войцеховский Александр Васильевич, зав. кафедрой<sup>1</sup>.  
Несмелов Сергей Николаевич, ст. научный сотрудник<sup>1</sup>.  
Дзядх Станислав Михайлович, ст. научный сотрудник<sup>1</sup>.  
Дворецкий Сергей Алексеевич, ст. научный сотрудник<sup>1</sup>,  
зав. лабораторией<sup>2</sup>.  
Васильев Владимир Васильевич, зав. лабораторией<sup>2</sup>.  
Варавин Василий Семенович, ст. научный сотрудник<sup>2</sup>.  
Михайлов Николай Николаевич, ст. научный сотрудник<sup>2</sup>.  
Кузьмин Валерий Давыдович, инженер<sup>2</sup>.  
Ремесник Владимир Григорьевич, ст. научный сотрудник<sup>2</sup>.  
Сидоров Юрий Георгиевич, главный научный сотрудник<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский

Томский государственный университет.

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

Тел.: (3822) 41-27-72. E-mail: vav43@mail.tsu.ru

<sup>2</sup>Институт физики полупроводников СО РАН,  
Россия, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13.

E-mail: dvor@isp.nsc.ru

Статья поступила в редакцию 12 августа 2014 г.

© Войцеховский А. В., Несмелов С. Н., Дзядх С. М.,  
Васильев В. В., Варавин В. С., Дворецкий С. А.,  
Михайлов Н. Н., Кузьмин В. Д., Ремесник В. Г.,  
Сидоров Ю. Г., 2014

электрофизические параметры некоторых исследованных гетероструктур приведены в таблицах 1 и 2, соответственно. Для структур 2, 4, 6 проводилось предварительное удаление приповерхностного варизонного слоя путем травления поверхности в растворе  $\text{Br}_2\text{-HBr}$ , а затем наносился диэлектрик  $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ . Для структур 1, 3, 5 диэлектрическое покрытие наносилось поверх варизонного слоя.

Отсчет толщины пленки ведется от границы раздела  $\text{HgCdTe}$  с двухслойным диэлектриком. Область  $\text{HgCdTe}$  за «барьером» для структур 3 и 4 легирована индием (на расстоянии от границы раздела примерно 10,5—11,5 мкм (см. рис. 1, кривая 2)).

Измерения проводились на автоматизированной установке спектроскопии адмиттанса наногетероструктур на базе неоптического криостата

Таблица 1

Технологические параметры гетероструктур

№ структуры	Состав на поверхности	Толщина верхнего варизонного слоя, мкм	Толщина нижнего варизонного слоя, мкм	Состав в рабочем слое	Толщина рабочего слоя, мкм
1	0,464	0,7	1,3	0,231	8,3
2	0,231	нет слоя	1,3	0,231	8,3
3	0,456	0,5	1,0	0,226	8,5
4	0,226	нет слоя	1,0	0,226	8,5
5	0,431	0,5	0,8	0,324	8,1
6	0,312	нет слоя	1,6	0,312	7,3

Таблица 2

Электрические параметры гетероструктур при  $T = 78 \text{ K}$

№ структуры	Концентрация основных носителей, $\text{см}^{-3}$	Подвижность основных носителей, $\text{см}^2\text{V}^{-1}\text{c}^{-1}$	Проводимость, $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	Время жизни, мкс
1	$3,7 \times 10^{14}$	70000	4,5	6—7
2	$3,7 \times 10^{14}$	70000	4,5	6—7
3	$9,2 \times 10^{15}$	33000	50	7—10
4	$9,2 \times 10^{15}$	33000	50	7—10
5	$4,1 \times 10^{14}$	16000	1,1	10
6	$5,5 \times 10^{14}$	20000	1,8	>10

Исследование таких образцов позволяет определить влияние варизонных слоев на электрофизические свойства полупроводника. Распределение состава по толщине эпитаксиальной пленки для структур 1, 3, 5, измеренное автоматическим эллипсометром в процессе роста, показано на рис. 1.

Janis и измерителя иммитанса Agilent E4980A (температурный диапазон 8—475 К, диапазон выставляемого напряжения  $-40\text{—}+40 \text{ В}$ , частоты 20 Гц — 2 МГц).

**Экспериментальные результаты и их обсуждение**

На рис. 2 и 3 показаны зависимости емкости от напряжения для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,226$  и  $0,231$ ) с варизонным слоем и без варизонного слоя при частоте 200 кГц и температурах 77 (60) К и 8 К. Из рис. 2 видно, что на вольт-фарадной характеристике (ВФХ) структуры 2 без варизонного слоя при низких частотах (2—200 кГц при 77 К) ясно проявляется особенность, связанная с вкладом в измеряемую емкость емкости перезарядки энергетического уровня в запрещенной зоне, расположенного в приповерхностном слое  $\text{HgCdTe}$ . Энергия этого уровня, определенная по ВФХ, составляет  $E_c - 0,04 \text{ эВ}$ , а плотность состояний, рассчитанная по величине «пюльчки» на ВФХ, имеет значение около  $2 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ . При температуре 8 К «максимум» на ВФХ уже не проявляется, так как увеличивается время перезарядки уровня при глубоком охлаждении. Из рис. 2

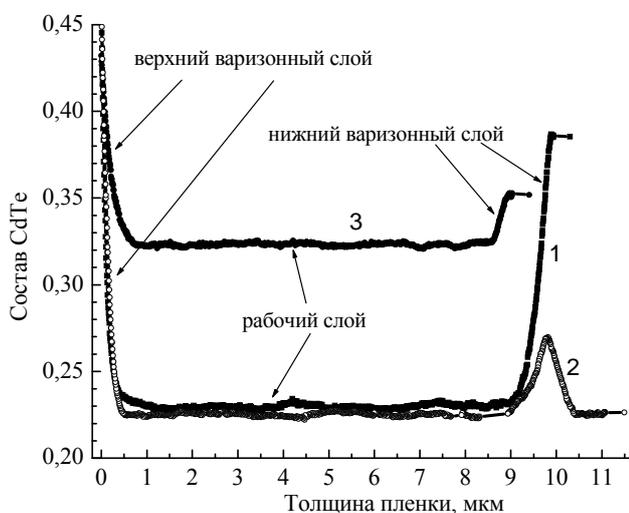


Рис. 1. Распределение состава по толщине структур 1 (кривая 1), 3 (2) и 5 (3) на основе гетероэпитаксиального МЛЭ  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$

и 3 видно, что при 60 и 77 К ВФХ для МДП-структур с варизонным слоем и без варизонного слоя имеют вид, близкий к низкочастотному. При температуре 8 К для структуры без варизонного слоя на частоте 200 кГц наблюдается вид ВФХ, также близкий к низкочастотному. В то же время для структуры с варизонным слоем при 8 К реализуется высокочастотный вид ВФХ. Частота, при которой начинает наблюдаться высокочастотный вид ВФХ, при низких температурах значительно меньше для МДП-структуры на основе  $n\text{-Hg}_{0,77}\text{Cd}_{0,23}\text{Te}$  с варизонным слоем, чем для структур без варизонного слоя.

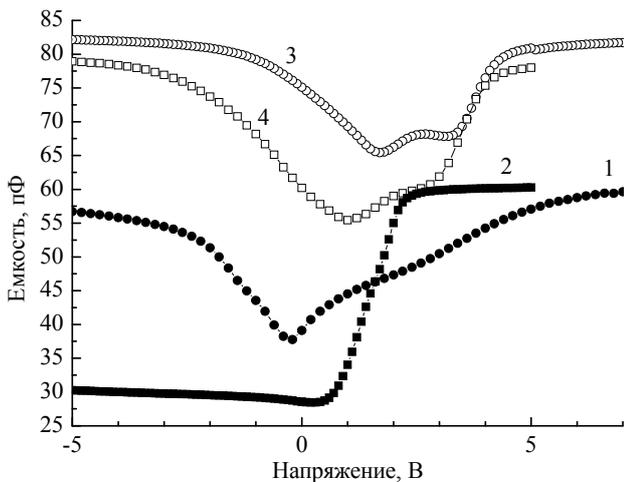


Рис. 2. ВФХ МДП-структур на основе  $n\text{-HgCdTe}$  для структуры 1 (кривые 1, 2) и структуры 2 (кривые 3, 4), измеренные на частоте 200 кГц при температурах 77 К (кривые 1, 3) и 8 К (кривые 2, 4)

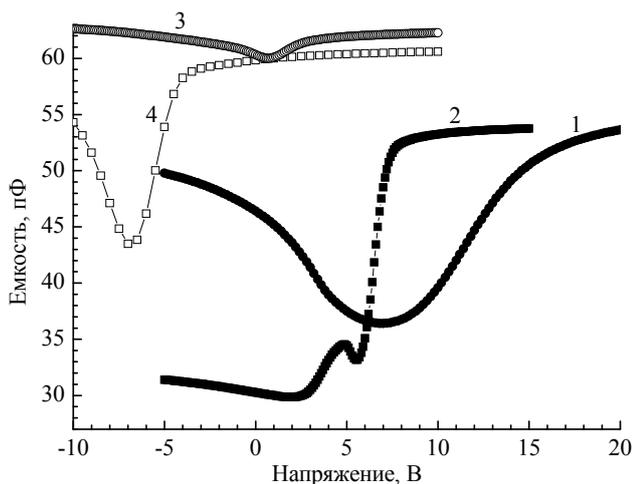


Рис. 3. ВФХ МДП-структур на основе  $n\text{-HgCdTe}$  для структуры 3 (кривые 1, 2) и структуры 4 (кривые 3, 4), измеренные на частоте 200 кГц при температурах 60 К (кривые 1, 3) и 8 К (кривые 2, 4)

Из анализа рис. 2 и 3 можно сделать вывод, что уменьшение температуры от (60—77) К до 8 К сильно изменяет вид емкостных характеристик

МДП-структур на основе  $n\text{-HgCdTe}$  ( $x = 0,22\text{—}0,23$ ) с приповерхностным варизонным слоем. Одной из причин наблюдаемого на рис. 2 и 3 изменения ВФХ МДП-структур может быть увеличение дифференциального сопротивления области пространственного заряда.

На рис. 4 показаны зависимости емкости от напряжения для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  с варизонным слоем ( $x = 0,324$ , структура 5) и без варизонного слоя ( $x = 0,312$ , структура 6) при температурах 77 К и 8 К. При температуре 77 К для структур 5 и 6 высокочастотный вид на частоте 10 кГц не наблюдается, а при температуре 8 К для обеих структур наблюдается высокочастотный вид ВФХ независимо от наличия варизонного слоя. Для структуры 5 при 8 К в диапазоне частот 10—500 кГц на ВФХ проявляется «полочка» (рис. 4, кривая 2), которая может быть связана с максимумом плотности состояний глубоких уровней с энергией около  $E_c - 0,125$  эВ.

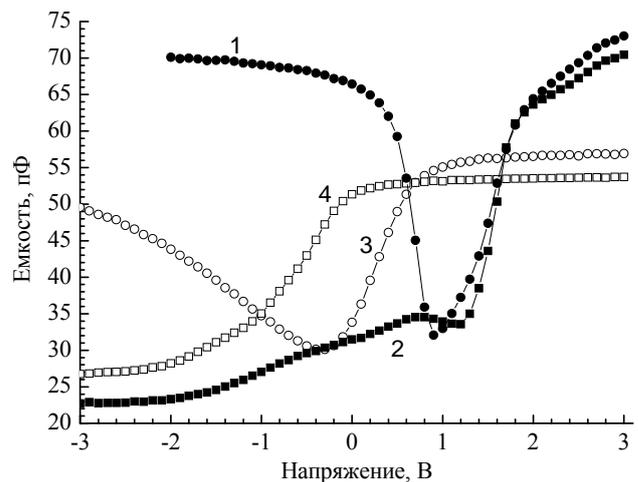


Рис. 4. ВФХ МДП-структур на основе  $n\text{-HgCdTe}$  для структуры 5 (кривые 1, 2) и структуры 6 (кривые 3, 4), измеренные на частоте 10 кГц при температурах 77 К (кривые 1, 3) и 8 К (кривые 2, 4)

На рис. 5 приведены зависимости сопротивления объема эпитаксиальной пленки от температуры для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  с варизонным слоем (структуры 1, 3, 5) и без варизонного слоя (структуры 2, 4, 6). Высокотемпературный спад сопротивления объема связан с увеличением собственной концентрации носителей. Рост сопротивления объема в диапазоне температур 50—200 К для структур 5 и 6 может быть связан с уменьшением подвижности электронов при увеличении температуры. Большие значения сопротивления объема эпитаксиальной пленки для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,31\text{—}0,32$ ), чем для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,22\text{—}0,23$ ), связаны с меньшими значениями подвижности электронов для более широкозонно-

го материала. Сдвиг температурных зависимостей сопротивления объема эпитаксиальной пленки для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,31—0,32$ ) относительно аналогичных зависимостей для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,22—0,23$ ) обусловлен меньшими значениями собственной концентрации при заданной температуре в более широкозонном материале.

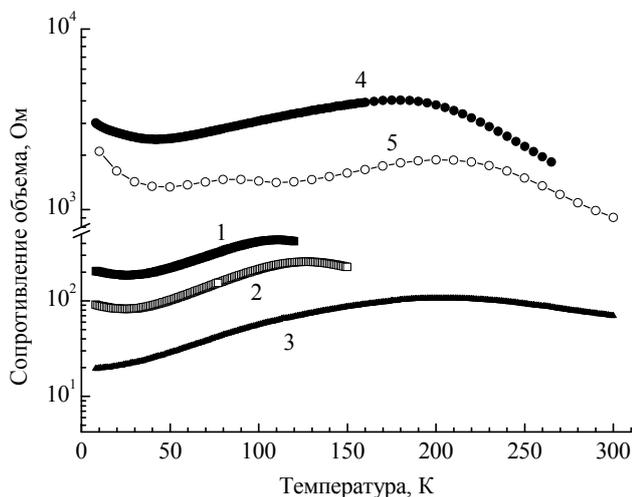


Рис. 5. Зависимости сопротивления объема от температуры для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  с варизонным слоем (структуры 1 (кривая 1), 5 (4)) и без варизонного слоя (2 (2), 4 (3), 6 (5)), измеренные на частоте 200 кГц (4, 5) и 1 МГц (1-3)

На рис. 6 показаны зависимости дифференциального сопротивления области пространственного заряда (ОПЗ) от обратной температуры для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,22—0,23$  и  $0,31—0,32$ ) с варизонным слоем и без варизонного слоя. Из рис. 6 видно, что температурные зависимости дифференциального сопротивления ОПЗ для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,31—0,32$ ) с варизонным слоем и без варизонного слоя качественно сходны, чем они отличаются от МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,22—0,23$ ) без варизонного слоя и с варизонным слоем, которые качественно различны.

Для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,22—0,23$ ) без варизонного слоя типична слабая зависимость дифференциального сопротивления ОПЗ от температуры в диапазоне температур 8—77 К, что свидетельствует о доминировании процессов туннельной генерации неосновных носителей через глубокие уровни. Для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,22—0,23$ ) с варизонным слоем типичен рост дифференциального сопротивления ОПЗ при охлаждении структур от 77 до 8 К. Полученные результаты для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,22—0,23$ ) можно объяснить, тем, что дифференциальное сопротивление ОПЗ для структуры без варизонного слоя

ограничено при 8-77 К процессами туннелирования через глубокие уровни, а для структур с варизонным слоем – процессами генерации Шокли-Рида.

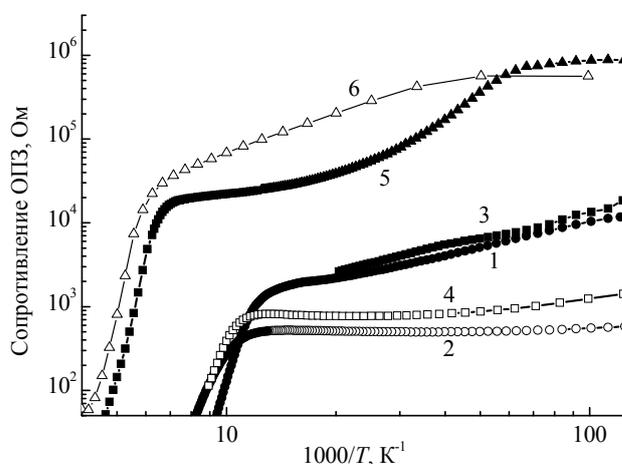


Рис. 6. Зависимости дифференциального сопротивления ОПЗ в сильной инверсии от обратной температуры для МДП-структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  с варизонным слоем (структуры 1 (кривая 1), 3 (3), 5 (5)) и без варизонного слоя (2 (2), 4 (4), 6 (6)), измеренные на частоте 200 кГц (5, 6) и 1 МГц (1-4)

Для структур на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,31—0,32$ ) наблюдается увеличение дифференциального сопротивления ОПЗ при охлаждении структур от 150 до (13—20) К независимо от наличия приповерхностного варизонного слоя. В МДП-структуре на основе  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,312$ ) без варизонного слоя ширина запрещенной зоны слишком велика для доминирования процессов туннельной генерации неосновных носителей. Температурные зависимости дифференциального сопротивления ОПЗ для МДП-структур на основе МЛЭ  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,31—0,32$ ) с варизонным слоем и без варизонного слоя качественно сходны. При охлаждении от 150 К до (13—20) К их дифференциальное сопротивление ОПЗ увеличивается, что можно объяснить доминированием в обеих структурах на основе МЛЭ  $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0,31—0,32$ ) процессов генерации Шокли-Рида. Высокотемпературный спад дифференциального сопротивления ОПЗ связан с доминированием процессов диффузии неосновных носителей заряда из квазинейтрального объема к границе раздела.

### Заключение

В работе проведены исследования адмиттанса МДП-структур на основе МЛЭ  $n\text{-HgCdTe}$  ( $x = 0,22—0,23$  и  $0,31—0,32$ ) в широком диапазоне температур (8—300) К. Показано, что для МДП-структур на основе  $n\text{-HgCdTe}$  с приповерхностным варизонным слоем характерны большие глу-

бина и ширина «провала» на низкочастотной вольт-фарадной характеристике, чем для структур без варизонного слоя.

Для МДП-структур на основе МЛЭ  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,22—0,23$ ) с варизонным слоем при охлаждении структур от 77 до 8 К значительно уменьшается частота перехода ВФХ к высокочастотному виду. Также уменьшается частота перехода ВФХ к высокочастотному виду при снижении температуры от 77 до 8 К для МДП-структур на основе МЛЭ  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,31—0,32$ ) независимо от наличия приповерхностного варизонного слоя. Для МДП-структур на основе МЛЭ  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,22—0,23$ ) без варизонного слоя при охлаждении структур от 77 до 8 К частота перехода ВФХ к высокочастотному виду существенно не изменяется. Для МДП-структур на основе МЛЭ  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,23$ ) без варизонного слоя в приповерхностной области обнаружены уровни с энергией  $E_c - 0,04$  эВ и плотностью состояний около  $2 \times 10^{11}$  см<sup>-2</sup>.

Получены зависимости дифференциального сопротивления области пространственного заряда от обратной температуры для МДП-структур на основе МЛЭ  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,22—0,23$  и  $0,31—0,32$ ). Для МДП-структур на основе МЛЭ  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,31—0,32$ ) и МДП-структур на основе МЛЭ  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,22—0,23$ ) с варизонным слоем дифференциальное сопротивление ОПЗ увеличивается при охлаждении структур от 77 до 25 К и 8 К, соответственно. Для МДП-структур на основе МЛЭ  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,22—0,23$ ) без варизонного слоя дифференциальное сопротивление ОПЗ слабо и немонотонно зависит от температуры. Дифференциальное сопротивление ОПЗ МДП-структур на основе  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,22—0,23$ ) без варизонного слоя ограничено в температурном диапазоне 8—77 К туннелированием через глубокие уровни.

Следует отметить, что установленные закономерности поведения температурных зависимостей дифференциального сопротивления ОПЗ для МДП-структур на основе  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,22—0,23$ ) выполняются при концентрации электронов  $3,7 \times 10^{14}$  см<sup>-3</sup>, а также при концентрации электронов  $9,2 \times 10^{15}$  см<sup>-3</sup> для структур с областью, легированной In. Наиболее вероятно, что дифференциальное сопротивление ОПЗ для МДП-структур на основе  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,22—0,23$ ) с варизонным слоем, а также для МДП-структур на основе  $n$ -HgCdTe ( $x = 0,31—0,32$ ) определяется процессами генерации Шокли-Рида-Холла. Работа была поддержана Госзаданием № 16.1032.2014/К.

#### Литература

1. *Рогальский А.* Инфракрасные детекторы: пер. с англ. под ред. А. В. Войцеховского. — Новосибирск: Наука, 2003.
2. *Chu J., Sher A.* Device Physics of Narrow Gap Semiconductors. — New York: Springer, 2010.
3. *Войцеховский А. В., Давыдов В. Н.* Фотоэлектрические МДП-структуры из узкозонных полупроводников. — Томск: Радио и связь, 1990.
4. *Kinch M. A.* // *Semicond. Semimet.* 1981. V. 18. P. 313.
5. *Овсяк В. Н., Курьшев Г. Л., Сидоров Ю. Г. и др.* Матричные фотоприемные устройства инфракрасного диапазона. — Новосибирск: Наука, 2001.
6. *Васильев В. В., Машиков Ю. П.* // *Прикладная физика.* 2010. № 4. С. 106.
7. *Овсяк В. Н., Ярцев А. В.* // *Прикладная физика.* 2007. № 5. С. 80.
8. *Войцеховский А. В., Несмелов С. Н., Дзядух С. М. и др.* // *Известия ВУЗов. Физика.* 2006. № 10. С. 70.
9. *Voitsekhovskii A. V., Nesmelov S. N., Dzyadukh S. M.* // *Thin Solid Films.* 2012. V. 522C. P. 261.
10. *Voitsekhovskii A. V., Nesmelov S. N., Dzyadukh S. M.* // *Thin Solid Films.* 2014. V. 551. P. 92.
11. *He W., Celik-Butler Z.* // *Solid-State Electron.* 1996. V. 39. No. 1. P. 127.
12. *Yang M. J., Yang C. H., Kinch M. A., Beck J. D.* // *Appl. Phys. Lett.* 1989. V. 54. No. 3. P. 265.
13. *Zvara M., Grill R., Hlidek P., et al.* // *Semicond. Sci. Technol.* 1995. No. 10. P. 1145.

## The investigation of admittance of MIS-structures based on graded-gap MBE $n$ -HgCdTe ( $x = 0.22—0.23$ and $0.31—0.32$ ) in wide temperature range

*A. V. Voitsekhovskii<sup>1</sup>, S. N. Nesmelov<sup>1</sup>, S. M. Dzyadukh<sup>1</sup>, V. V. Vasil'ev<sup>2</sup>, V. S. Varavin<sup>2</sup>, S. A. Dvoret'skii<sup>1,2</sup>, N. N. Mikhailov<sup>2</sup>, V. D. Kuzmin<sup>2</sup>, V. G. Remesnik<sup>2</sup> and Yu. G. Sidorov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>National Research Tomsk State University,  
36 Lenin av., Tomsk, 634050, Russia  
E-mail: vav43@mail.tsu.ru

<sup>2</sup>Institute of Semiconductor Physics, SB of RAS,  
13 Acad. Lavrent'ev av., Novosibirsk, 630090, Russia  
E-mail: dvor@isp.nsc.ru

Received August 12, 2014

**The complex conductance of MIS-structures based on MBE n-HgCdTe ( $x = 0.22$ — $0.23$  and  $0.31$ — $0.32$ ) was experimentally investigated in wide frequency range and wide temperature range. It is shown that presence of the near-surface graded-gap layer in MIS-structures based n-HgCdTe ( $x = 0.22$ — $0.23$ ) lead to effective suppression of tunneling via deep levels. The differential resistance of space charge region in strong inversion mode for MIS-structures based on MBE n-HgCdTe ( $x = 0.22$ — $0.23$  with near-surface graded-gap layer and  $x = 0.31$ — $0.32$ ) is limited of the Shockley-Read generation in temperature range 8—77 K.**

PACS: 73.40Qv, 73.21As, 85.60Gz, 73.61Ga.

**Keywords:** MIS structure, mercury cadmium telluride, molecular-beam epitaxy, near-surface graded-gap layer, complex conductance, space charge region, mechanism, generation, charge carriers.

#### References

1. A. Rogalskii, *Infrared Detectors* (Nauka, Novosibirsk, 2003) [in Russian].
2. J. Chu and A. Sher, *Device Physics of Narrow Gap Semiconductors* (Springer, New York, 2010).
3. A. V. Voitsekhovskii and V. N. Davydov, *Photoelectric MIS Structures of Narrow Gap Semiconductors* (Radio i Svyaz', Tomsk, 1990) [in Russian].
4. M. A. Kinch, *Semicond. Semimet.* **18**, 313 (1981).
5. V. N. Ovsyuk, G. L. Kuryshv, Yu. G. Sidorov, et al., *IR FPA* (Nauka, Novosibirsk, 2001) [in Russian].
6. V. V. Vasil'ev and Yu. P. Mashukov, *Prikladnaya Fizika*, No. 4, 106 (2010).
7. V. N. Ovsyuk and A. V. Yartsev, *Prikladnaya Fizika*, No. 5, 80 (2007).
8. A. V. Voitsekhovskii, S. N. Nesmelov, and S. M. Dzyadukh, *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Fizika*, No. 10, 70 (2006).
9. A. V. Voitsekhovskii, S. N. Nesmelov, and S. M. Dzyadukh, *Thin Solid Films* **522C**, 261 (2012).
10. A. V. Voitsekhovskii, S. N. Nesmelov, and S. M. Dzyadukh, *Thin Solid Films* **551**, 92 (2014).
11. W. He and Z. Celik-Butler, *Solid-State Electron.* **39**, 127 (1996).
12. M. J. Yang, C. H. Yang, M. A. Kinch, et al., *Appl. Phys. Lett.* **54**, 265 (1989).
13. M. Zvara, R. Grill, P. Hlidek, et al., *Semicond. Sci. Technol.*, No. 10, 1145 (1995).