

УДК 621.315.592
EDN: YLIXDUPACS: 73.40.Qv, 86.60.Gz, 77.55.-g,
73.61.-r, 81.15.-z

Характеристики МДП-структур с диэлектрическими слоями Al_2O_3/SiO_x , выращенными на эпитаксиальном слое $HgCdTe$

© А. А. Романов^{1,2*}, К. О. Болтарь^{1,3}, А. В. Трухачев¹, А. Я. Поляков²¹ АО «НПО «Орион», Москва, 111538 Россия² Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,
Москва, 119049 Россия

* E-mail: romanov.andrei.a@mail.ru

³ Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Московская обл., г. Долгопрудный, 141701 РоссияСтатья поступила в редакцию 25.09.2026; после доработки 06.10.2026; принята к публикации 22.10.2026
Шифр научной специальности: 1.3.11.

Выращивание тонких диэлектрических плёнок Al_2O_3 методом атомно-слоевого осаждения на поверхности теллурида кадмия-ртути – перспективный метод пассивации поверхности полупроводника для создания матричных ИК-фотоприемников. Исследование направлено на поиск методов уменьшения плотности интерфейсных состояний встроенного в диэлектрик заряда, а также концентрации медленных ловушек в выращенных слоях для нескольких вариаций диэлектрических слоёв, включающих Al_2O_3 и SiO_x . Показано, что при осаждении дополнительного слоя SiO_x поверх Al_2O_3 удаётся добиться снижения плотностей эффективного накопленного заряда в диэлектрике и на интерфейсных состояниях, а также заряда, обусловленного медленными ловушками, до значений $4,6 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ и $-5,3 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$, соответственно. Прогнозируется возможность устранения эффекта гистерезиса вольт-фарадных характеристик МДП-структур $Ni/SiO_x/Al_2O_3/HgCdTe$ при определённом соотношении толщин SiO_x/Al_2O_3 .

Ключевые слова: $HgCdTe$, Al_2O_3 , атомно-слоевое осаждение, пассивация поверхности, МДП-структура, вольт-фарадные характеристики.

DOI: 10.51368/1996-0948-2026-5-30-38

Введение

Твёрдый раствор теллурида кадмия-ртути ($HgCdTe$ или КРТ) – полупроводниковый материал, получивший широкое применение в области фотовольтаических детекторов инфракрасного излучения [1, 2]. Позиция данного материала в этой сфере обусловлена возможностью тонкой настройки ширины запрещённой зоны, большими оптическими коэффициентами, обеспечивающими высокую квантовую эффективность, а также относительно высокими рабочими температурами приборов на основе КРТ по сравнению с дру-

гими узкозонными полупроводниковыми материалами [3].

Использование $HgCdTe$ для создания средневолновых и длинноволновых детекторов инфракрасного излучения подразумевает значения ширины запрещённой зоны материала от 300 мэВ до 100 мэВ, соответственно. Это обуславливает высокое влияние поверхностного потенциала на свойства полупроводниковой структуры. Его изменение в пределах 100 мВ уже способно приводить к заметному искривлению зон и изменению концентрации носителей заряда. Кроме того, наличие рекомбинационных центров, обу-

словленных дефектами на поверхности полупроводника, приводит к увеличению темновых токов и снижению характеристик матричных ИК-фотоприемников. С целью уменьшения подобных негативных поверхностных эффектов применяются различные методы пассивации поверхности HgCdTe [3–5].

Распространённым методом пассивации на данный момент является термическое осаждение в вакууме более широкозонного по отношению к КРТ теллурида кадмия (CdTe). Этот материал имеет кристаллическую структуру, хорошо согласующуюся по параметру решётки с HgCdTe, обладает отличной химической совместимостью с КРТ и способен обеспечивать высокое электрическое сопротивление пассивирующего слоя [3, 6, 7]. Однако с развитием фотоприёмных устройств и переходом к матрицам с большим разрешением и малым шагом между фоточувствительными элементами требования к технологии пассивации поверхности возрастают. Термическое осаждение плохо подходит для достижения высокой однородности плёнок при пассивации структур с высоким соотношением сторон элементов (high aspect ratio). Именно поэтому активно исследуются альтернативные, более продвинутое в технологическом плане методы пассивации.

Одним из возможных решений является применение плазмостимулированного атомно-слоевого осаждения (plasma-enhanced atomic layer deposition, PE-ALD). Эта технология обеспечивает высокую однородность осаждаемых плёнок [8, 9]. При этом процесс роста возможно проводить при низких температурах подложки (от 80 °C), что положительно сказывается на сохранении первоначальных свойств полупроводникового материала HgCdTe. Так как CdTe не может быть выращен данным методом, то наиболее перспективными вариантами материалов для пассивации являются Al_2O_3 и HfO_2 . Другими научными группами успешно была продемонстрирована возможность пассивации поверхности КРТ с помощью Al_2O_3 , однако нестабильность заряда, накапливаемого в диэлектрике, а также изменение свойств при воздействии повышенных температур остаются проблемами, требующими решения [10–12].

Данная работа направлена на изучение плотности зарядов в плёнках Al_2O_3 и на гете-

роинтерфейсе HgCdTe/ Al_2O_3 ёмкостными методами исследования, а также анализ влияния на данный параметр дополнительных диэлектрических слоёв SiO_x , наносимых поверх выращенной методом PE-ALD плёнки Al_2O_3 .

Информация об исследуемых структурах и методах измерения

Исследованы слои $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ состава $x = 0,279$ с проводимостью p -типа, выращенные на подложке ZnCdTe методом жидкофазной эпитаксии в АО «ГИРЕДМЕТ». Толщина эпитаксиального слоя составляла 19 мкм. Концентрация носителей заряда p -типа составляла $2,5 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$, подвижность носителей заряда – $\mu_p = 300 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Определение концентрации и подвижности дырок проводилось с помощью анализа эффекта Холла при температуре 78 К.

Для проведения измерений на поверхности эпитаксиальной структуры были сформированы три типа структур метал-диэлектрик-полупроводник. С целью минимизации неоднородности свойств полупроводникового материала все три типа структур подвергались одинаковым температурным и химическим воздействиям.

Для подготовки подложки к процессу нанесения пассивирующего слоя диэлектрика поверхность HgCdTe была химически очищена в органических растворителях: диметилформамиде, ацетоне, толуоле. После этого проведена обработка поверхности в кислородной плазме в течение 2 минут при мощности 250 Вт с целью удаления остатков органических загрязнений. Непосредственно перед нанесением диэлектрика проведено освежающее травление в растворе $\text{Br}_2:\text{MeOH}$ в течение 5 секунд для удаления слоя собственного оксида [12].

Во всех трёх случаях на поверхность HgCdTe была нанесена тонкая плёнка Al_2O_3 методом плазмостимулированного атомно-слоевого осаждения (plasma enhanced atomic layer deposition, PE-ALD). Во время процесса осаждения диэлектрика температура подложки поддерживалась на уровне 140 °C. Это значение было выбрано для минимизации температурного воздействия на КРТ при достиже-

нии оптимального качества Al_2O_3 [13, 14]. Толщина диэлектрической плёнки составила 60 нм, что было подтверждено эллипсометрическими методами анализа на длине волны 632,8 нм. При этом показатель преломления составил $n = 1,697$. Это значение меньше показателя преломления для монокристаллического $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ($n = 1,766$). Такое расхождение в значениях показателей преломления обусловлено, возможно, аморфной структурой плёнки Al_2O_3 , выращенной методом PE-ALD, и её более низкой плотностью по сравнению с лейкосапфиром [15].

Первый тип структур МДП был сформирован путём осаждения Ni контактов толщиной 30 нм непосредственно на поверхность пассивирующего слоя Al_2O_3 методом магнетронного напыления в вакууме. Затем данные контакты были покрыты In толщиной 5 мкм для создания дополнительного слоя с целью повышения удобства зондовых измерений. Форма и размер контактов формировались с помощью контактной фотолитографии под взрыв металла с применением негативного фоторезиста. Омические контакты к объёму эпитаксиального слоя HgCdTe были сформированы из In.

Процесс создания второго и третьего типа структур отличался от первого случая лишь дополнительным шагом для нанесения диэлектрического слоя SiO_x между слоем Al_2O_3 и никелевыми контактами. Толщина слоя SiO_x для II типа структур составила 30 нм, а для III типа структур – 350 нм. Нанесение проводилось с помощью термического осаждения в вакууме. При этом температура подложки не превышала 90 °C на протяжении всего процесса.

Исследованы три типа структур МДП-структур: $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$, $\text{Ni}/\text{SiO}_x(30 \text{ нм})/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$ и $\text{Ni}/\text{SiO}_x(350 \text{ нм})/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$. Для оценки электрического сопротивления МДП измерены вольт-амперные (I – V) характеристики. С целью определения плотности эффективного накопленного заряда (суммарный заряд, приходящийся как на поверхностные состояния, так и на заряд, встроенный в диэлектрик) измерены и проанализированы вольт-фарадные (C – V) характеристики.

Оценка плотности заряда производилась на основе смещения экспериментального зна-

чения плоских зон, полученного из C – V кривых, относительно его теоретического значения, рассчитанного на основе разницы работ выхода из металла и полупроводника [16, 17]. Данный метод также позволил проанализировать эффект гистерезиса, проявляющийся в смещении вольт-фарадных кривых при изменении направления развёртки по напряжению. Смещение напряжения плоских зон в пределах петли гистерезиса позволило оценить плотность заряда, накопленного на медленных ловушках в слое диэлектрика, так как именно эти состояния отвечают за эффект гистерезиса в вольт-фарадных характеристиках.

Измерение вольт-амперных характеристик проводилось с использованием многофункционального анализатора Agilent B1500. Ёмкостные измерения осуществлялись в диапазоне частот зондирующего сигнала от 1 кГц до 7 МГц с использованием LCR-метра Tonghui TH2836. Во время всех измерений образец находился в вакуумной камере криостатируемого столика Linkam HFS350EV-PB4.

Результаты и их обсуждение

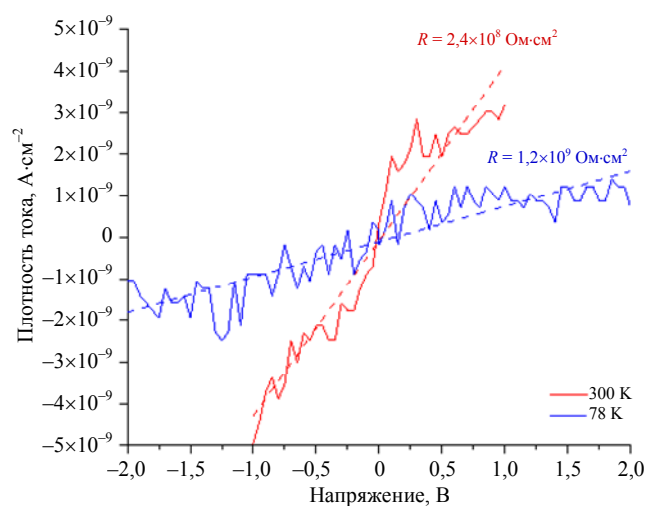
На первом этапе измерений были проанализированы ВАХ для МДП-структур трёх типов. На рис. 1а представлены вольт-амперные характеристики структуры I типа (то есть без дополнительного диэлектрического слоя SiO_x). Плотность тока через МДП-структуру $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$ составила порядка $2 \times 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ при напряжении смещения 2 В. При этом измерения проводились на металлическом контакте малой площади ($195 \times 145 \text{ мкм}^2$), а сам ток, проходящий через структуру, не превышал $5 \times 10^{-13} \text{ А}$, что лежит вблизи нижней границы детектирования измерительного оборудования – именно этим обусловлен шум в измерениях токовых характеристик. Электрическое сопротивление МДП-структуры I типа составило $1,2 \times 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$, что соответствует удельному объёмному сопротивлению плёнки Al_2O_3 , $2 \times 10^{14} \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

На рис. 1(б, в) представлены вольт-амперные измерения для второго и третьего типа структур с дополнительным диэлектрическим слоем SiO_x . Как видно из характе-

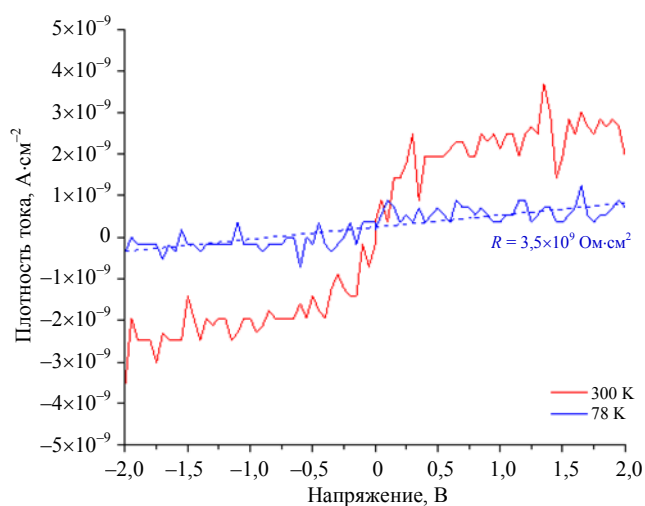
ристик, дополнительный слой оксида кремния увеличил электрическое сопротивление МДП-структуры при температуре 78 К примерно в 3 раза – до значения $3,5 \times 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$. Увеличение толщины этого слоя с 30 нм до 350 нм не привнесло значительного возрастания сопротивления структуры.

Измерения зависимости ёмкости структур от частоты зондирующего сигнала показали значительное снижение ёмкости при частотах выше 1 МГц, что наблюдается для всех трёх типов структур. Результаты представлены на рисунке 2. При этом дополнительный слой SiO_x приводит к более плавному сниже-

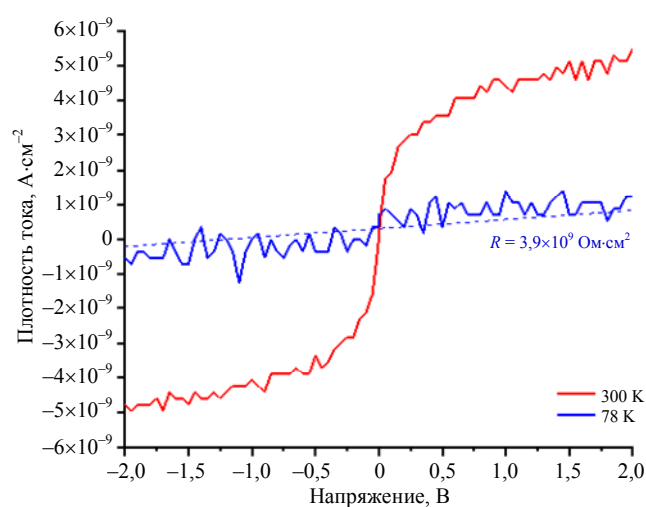
нию ёмкости на высоких частотах, однако на низких частотах сигнала (в диапазоне от 1 кГц до 1 МГц) начинает наблюдаться нестабильность в измерении ёмкости структуры и её плавный спад при увеличении частоты. Уменьшение измеряемой ёмкости на высоких частотах может быть объяснено влиянием последовательного сопротивления МДП-структуры [16]. При этом эффект уменьшения измеряемой ёмкости также может быть обусловлен влиянием медленных состояний. Однако чтобы разделить эти два эффекта необходимо проводить дополнительный анализ, что является предметом будущих исследований.



а)



б)



в)

Рис. 1. Вольт-амперные характеристики для МДП-структур при температурах 300 и 78 К: (а) $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$; (б) $\text{Ni}/\text{SiO}_x(30 \text{ нм})/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$ и (в) $\text{Ni}/\text{SiO}_x(350 \text{ нм})/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$

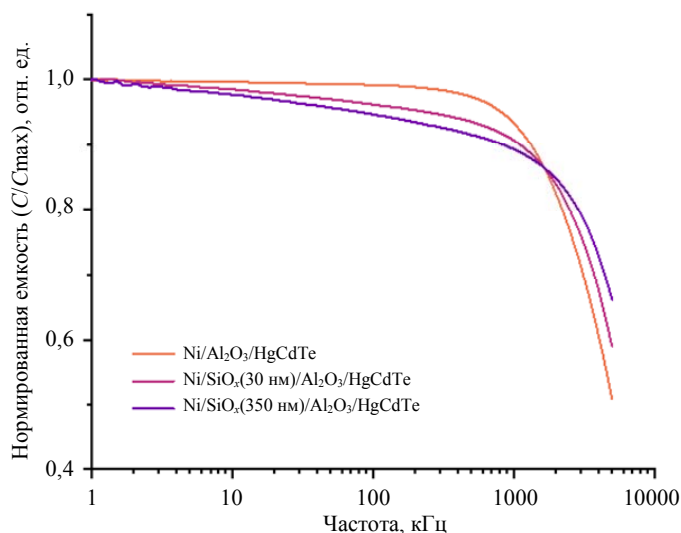


Рис. 2. Зависимость нормированной ёмкости трёх типов структур от частоты зондирующего сигнала

Измерения вольт-фарадных характеристик проводились при частоте зондирующего сигнала 100 кГц, что, с одной стороны, позволило минимизировать влияние последовательного сопротивления на измеряемую ёмкость, а с другой – получить вольт-фарадные характеристики с наименьшим значением шума в сигнале.

Теоретическое значение напряжения плоских зон определялось из разности работ выхода из металла и полупроводника, которое не зависит от диэлектрика, находящегося между ними, а значит, для всех трёх типов структур оно оказалось одинаковым. Для определения разницы работ выхода Φ_{MS} при определённой температуре T необходимо знать сродство к электрону χ для теллурида кадмия-ртути заданного состава x , значение его ширины запрещённой зоны, а также положение уровня Ферми относительно валентной зоны [16, 17]. Расчёты данных величин были проведены по следующим формулам [18, 19]:

$$\begin{aligned}\Phi_{MS} &= \Phi_{Ni} - \Phi_{HgCdTe} = \\ &= \Phi_{Ni} - (\chi_{HgCdTe} + E_g - (E_F - E_V)),\end{aligned}\quad (1)$$

$$\begin{aligned}\chi_{HgCdTe} &= 5,59 - 1,29x + 0,54x^2 - \\ &- 0,56x^3 + 7,13 \times 10^{-4}Tx,\end{aligned}\quad (2)$$

$$\begin{aligned}E_g &= -0,302 + 1,93x - 0,81x^2 + \\ &+ 0,832x^3 + 5,35 \times 10^{-4}(1-2x)T.\end{aligned}\quad (3)$$

Теоретическое значение напряжения плоских зон составило $-1,0$ В для всех типов структур. На рисунке 3 представлены вольт-фарадные характеристики для трёх типов структур, измеренные при температуре 78 К.

Для I типа структур экспериментальное напряжение плоских зон принимает значения $-2,2$ В и $-3,3$ В, что обусловлено наличием эффекта гистерезиса. При этом ясно, что при обратном направлении развёртки напряжения (красная линия) происходило накопление положительного заряда в диэлектрике в момент перехода структуры от обеднения к аккумуляции. Об этом же свидетельствует и увеличенная минимальная ёмкость структуры в прямом направлении развёртки напряжения (синяя линия). Это обуславливается экранированием электрического поля со стороны электрода [20].

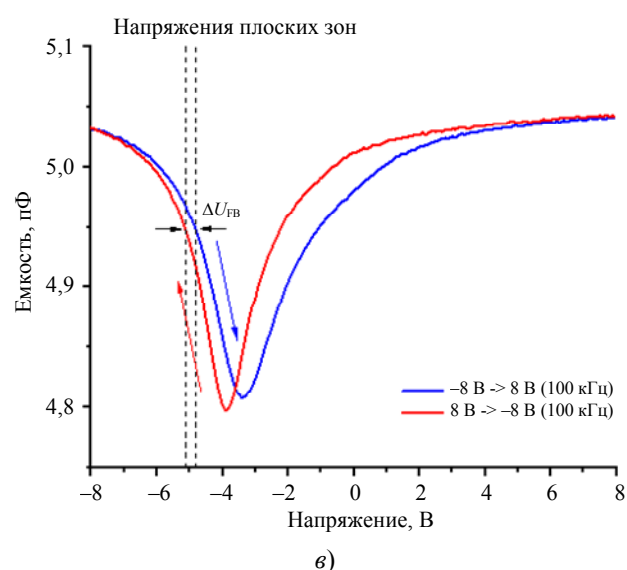
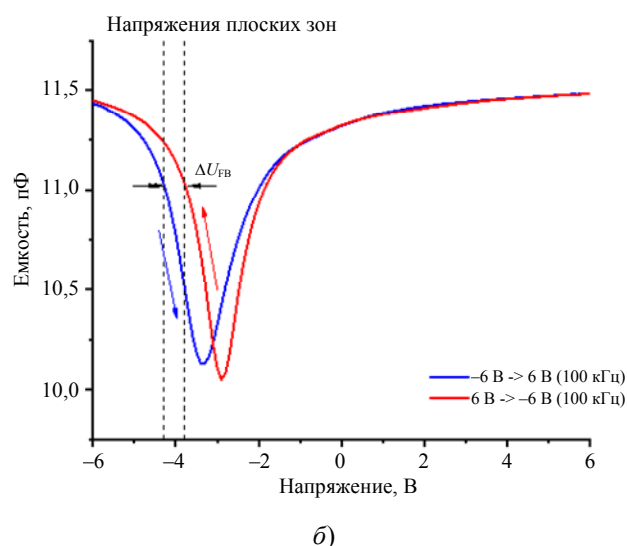
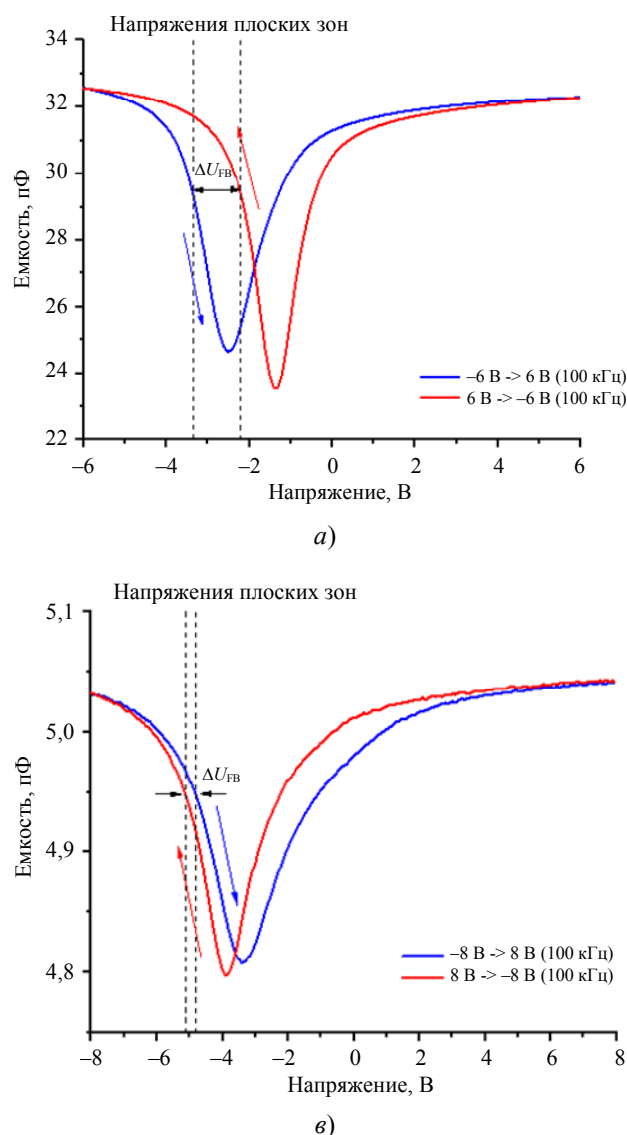


Рис. 3. Вольт-фарадные характеристики трёх типов МДП-структур при $T = 78$ К: (а) $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$; (б) $\text{Ni}/\text{SiO}_x(30 \text{ нм})/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$ и (в) $\text{Ni}/\text{SiO}_x(350 \text{ нм})/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$

Плотность эффективного накопленного заряда для структуры $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$ составила $8,7 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$. Плотность заряда, обуславливающего эффект гистерезиса, при этом составила $7,9 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$, что сравнимо с плотностью эффективного накопленного заряда, а их суммарное значение составляет $1,7 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$, что является крайне высоким значением.

Большой положительный эффективный накопленный заряд обусловлен наличием инверсного слоя на поверхности КРТ, образовавшегося после плазмохимической обработки поверхности полупроводника перед нанесением Al_2O_3 . Вид высокочастотных вольт-фарадных характеристик, которые представлены на рисунке 4, подтверждает p -тип проводимости [16, 17] основного объема эпитаксиальной структуры HgCdTe .

Для II типа структур $(\text{Ni}/\text{SiO}_x(30 \text{ нм})/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe})$ наблюдается смещение напряжения плоских зон в отрицательные значения — значения составили $-3,8 \text{ В}$ и $-4,3 \text{ В}$ с учётом гистерезиса. Однако данное увеличение напряжения плоских зон по абсолютной величине обусловлено лишь уменьшением эффективной ёмкости диэлектрических слоёв. Плотность эффективного накопленного заряда при этом уменьшилась до $7,1 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$. Эффект гистерезиса также стал менее выраженным, и плотность заряда, отвечающего за него, снизилась примерно в 6 раз до значения $1,3 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$.

Анализ ВФХ III типа структур $(\text{Ni}/\text{SiO}_x(350 \text{ нм})/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe})$ показал дальнейшее смещение напряжения плоских зон в область отрицательных значений вплоть до $-5,1 \text{ В}$. При этом плотность эффективного

накопленного заряда оказалась наименьшей и составила $4,6 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$. Стоит отметить, что произошла смена направления эффекта гистерезиса – кривая, соответствующая прямому направлению развёртки, стала лежать правее кривой с обратным направлением развёртки. Плотность же заряда, обуславливающего этот эффект, оказалась равной $-5,3 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

Это позволяет говорить о компенсации эффекта гистерезиса при увеличении толщины дополнительного слоя диэлектрика SiO_x . Данное явление, по-видимому, объясняется

изменением поверхностного потенциала, которое приводит к увеличению энергетического зазора между уровнем Ферми и глубокими уровнями. Вследствие этого снижается интенсивность захвата и высвобождения дырок со стороны полупроводника и начинает преобладать подобный процесс для электронов со стороны металлического контакта МДП-структуры. Ожидается, что возможна минимизация эффекта гистерезиса при соотношении толщин $\text{SiO}_x/\text{Al}_2\text{O}_3$ около 4/1, что требует проверки в будущих исследованиях.

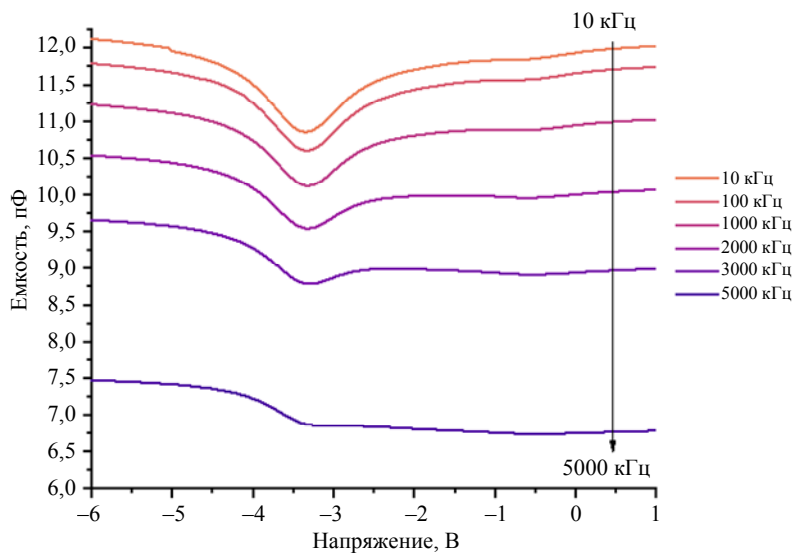


Рис. 4. Вольт-фарадные характеристики при различных частотах зондирующего сигнала для структуры $\text{Ni}/\text{SiO}_x(30 \text{ нм})/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$

Закключение

В ходе выполнения данной работы исследованы электрофизические характеристики трёх типов МДП-структур, сформированных для пассивации поверхности эпитаксиальной структуры HgCdTe диэлектрическим слоем Al_2O_3 , выращенным методом плазмостимулированного атомно-слоевого осаждения.

По результатам измерений вольт-амперных характеристик определены токи утечки через диэлектрические слои и электрическое сопротивление МДП-структур: для $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$ сопротивление составило $1,2 \times 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$, для $\text{Ni}/\text{SiO}_x(30 \text{ нм})/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$ – $3,5 \times 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$, для $\text{Ni}/\text{SiO}_x(350 \text{ нм})/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$ – $3,9 \times 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$. Это позволило оценить удельное объёмное сопротивление плёнки Al_2O_3 , значение которого составило $2 \times 10^{14} \text{ Ом} \cdot \text{см}$, что согласуется с литературными данными для данного материала.

По вольт-фарадным характеристикам оценена плотность эффективного накопленного заряда, состоящего из заряда на интерфейсных состояниях и встроенного в диэлектрический материал заряда. При увеличении толщины дополнительного диэлектрического слоя SiO_x наблюдалось снижение плотности эффективного накопленного заряда с $8,7 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ для I типа структур (без SiO_x) до $7,1 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ – для II типа структур (SiO_x 30 нм) и $4,6 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ – для III типа структур (SiO_x 350 нм).

При увеличении толщины слоя SiO_x происходит уменьшение величины гистерезиса ВФХ, а для МДП-структуры III типа наблюдается смена направления петли гистерезиса. Плотность эффективного заряда, накопленного на медленных ловушках, обуславливающих наличие эффекта гистерезиса, изменялась от значения $7,9 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ (без SiO_x) до $1,3 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ (SiO_x 30 нм) и $-5,3 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$ (SiO_x 350 нм).

При определённой толщине диэлектрического слоя SiO_x возможно устранение гистерезиса ВФХ для МДП-структур вида $\text{Ni/SiO}_x/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HgCdTe}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rogalski A., Antoszewski J., Faraone L. / J. Appl. Phys. 2009. Vol. 105. P. 091101.
2. Lei W., Antoszewski J., Faraone L. / Appl. Phys. Rev. 2015. Vol. 2. P. 041303.
3. Rogalski A. / Rep. Prog. Phys. 2005. Vol. 68. № 10. P. 2267–2336.
4. Яковлева Н. И., Болтарь К. О., Бурлаков И. Д., Старцев В. В. / Успехи прикладной физики. 2025. Т. 13. № 5. С. 378–419.
5. Акимов В. М., Болтарь К. О., Бурлаков И. Д., Климанов Е. А., Мансветов Н. Г., Пономаренко В. П., Сагинов Л. Д., Соляков В. Н., Стафеев В. И., Тимофеев А. А., Филачев А. М. / Прикладная физика. 2005. № 2. С. 7–15.
6. Головин С. В., Каушуба А. С. Способ пассивации поверхности теллурида кадмия-ртути. Патент на изобретение № 2611211 (РФ). 2017.
7. Пермикина Е. В., Каушуба А. С. / Успехи прикладной физики. 2016. Т. 4. № 5. С. 493–499.
8. Profijt H. B., Potts S. E., van de Sanden M. C. M., Kessels W. M. M. / J. Vac. Sci. Technol. A. 2011. Vol. 29. P. 050801.

9. Arts K., Hamaguchi S., Ito T., Karahashi K., Knoops H. C. M., Mackus A. J. M., Kessels W. M. M. / Plasma Sources Sci. Technol. 2022. Vol. 31. P. 103002.
10. Fu R., Pattison J. / Opt. Eng. 2012. Vol. 51. P. 104003.
11. Zhang P., Ye Z.-H., Sun C.-H., Chen Y.-Y., Zhang T.-N., Chen X., Lin C., Ding R.-G., He L. / J. Electron. Mater. 2016. Vol. 45. № 9. P. 4716–4720.
12. Kovchavtsev A. P., Sidorov G. Yu., Nastoyjak A. E., Tsarenko A. V., Sabinina I. V., Vasilyev V. V. / J. Appl. Phys. 2017. Vol. 121. P. 125304.
13. Gorshkov D. V., Sidorov G. Yu., Sabinina I. V., Sidorov Yu. G., Marin D. V., Yakushev M. V. / Tech. Phys. Lett. 2020. Vol. 46. № 8. P. 741–744.
14. Каушуба А. С., Головин С. В., Болтарь К. О., Пермикина Е. В., Атрашков А. С. / Прикладная физика. 2014. № 4. С. 76–79.
15. Kim S., Lee S.-H., Jo I. H., Seo J., Yoo Y.-E., Kim J. H. / Sci. Rep. 2022. Vol. 12. P. 5124.
16. Schroder D. K. Semiconductor Material and Device Characterization. – Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2015.
17. Sze S. M. Physics of Semiconductor Devices. – Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
18. Hansen G. L., Schmit J. L., Casselman T. N. / J. Appl. Phys. 1982. Vol. 53. P. 7099–101.
19. Voitsekhovskii A. V., Gorn D. I., Izhnin I. I., Izhnin A. I., Goldin V. D., Mikhailov N. N., Dvoretzskii S. A., Sidorov Yu. G., Yakushev M. V., Varavin V. S. / Russ. Phys. J. 2013. Vol. 55. P. 910–916.
20. Voitsekhovskii A. V., Nesmelov S. N., Dzyadukh S. M. / Russ. Phys. J. 2015. Vol. 58. P. 540–551.

PACS: 73.40.Qv, 86.60.Gz, 77.55.-g, 73.61.-r, 81.15.-z

Characteristics of MIS structures with $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_x$ dielectric layers grown on the surface of HgCdTe epitaxial layer

A. A. Romanov^{1,2*}, K. O. Boltar^{1,3}, A. V. Trukhachev¹, and A. Y. Polyakov²

¹ RD&P Center ORION, JSC, Moscow, 111538 Russia

² National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, 119049 Russia

* E-mail: romanov.andrei.a@mail.ru

³ Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Moscow Region, 141701 Russia

Received 25.09.2026; revised 06.10.2026; accepted 22.10.2026

Atomic layer deposition of thin dielectric films on the surface of mercury cadmium telluride (HgCdTe) draws significant attention being promising passivation technique for infrared FPA detectors fabrication. This study is aimed to investigate methods of lowering interface states densities, built-in charge in the dielectric, and presence of slow traps in the grown layers for three variations of dielectrics, including Al_2O_3 and SiO_x . It was shown that deposition of an additional SiO_x layer on top of Al_2O_3 leads to the reduction of effective accumulated charge density, as well as the charge density associated with slow traps, to values of $4.6 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ and $-5.3 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$, respectively. The possibility of eliminating the hysteresis effect in the capaci-

tance–voltage characteristics of MIS structures at a certain $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ thickness ratio is predicted.

Keywords: HgCdTe, Al_2O_3 , atomic-layer deposition, surface passivation, MIS structure, capacitance–voltage curves.

REFERENCES

1. Rogalski A., Antoszewski J., and Faraone L., J. Appl. Phys. **105**, 091101 (2009).
2. Lei W., Antoszewski J., and Faraone L., Appl. Phys. Rev. **2**, 041303 (2015).
3. Rogalski A., Rep. Prog. Phys. **68** (10), 2267–2336 (2005).
4. Iakovleva N. I., Boltar K. O., Burlakov I. D., and Startsev V. V., Advances in Applied Physics **13** (5), 378–419 (2025) [in Russian].
5. Akimov V. M., Boltar K. O., Burlakov I. D., Klimanov Ye. A., Mansvetov N. G., Ponomarenko V. P., Saginov L. D., Solyakov V. N., Stafeyev V. I., Timofeev A. A., and Filachev A. M., Applied Physics, № 2, 7–15 (2005) [in Russian].
6. Golovin S. V. and Kashuba A. S. Method of passivating surface of cadmium-mercury telluride. Patent for invention № 2611211 (RF). 2017.
7. Permikina E. V. and Kashuba A. S., Advances in Applied Physics **5** (5), 493–499 (2016) [in Russian].
8. Profijt H. B., Potts S. E., van de Sanden M. C. M., Kessels W. M. M., J. Vac. Sci. Technol. A. **29**, 050801 (2011).
9. Arts K., Hamaguchi S., Ito T., Karahashi K., Knoops H. C. M., Mackus A. J. M., and Kessels W. M. M., Plasma Sources Sci. Technol. **31**, 103002 (2022).
10. Fu R. and Pattison J., Opt. Eng. **51**, 104003 (2012).
11. Zhang P., Ye Z.-H., Sun C.-H., Chen Y.-Y., Zhang T.-N., Chen X., Lin C., Ding R.-G., and He L., J. Electron. Mater. **45** (9), 4716–4720 (2016).
12. Kovchavtsev A. P., Sidorov G. Yu., Nastovjak A. E., Tsarenko A. V., Sabinina I. V., Vasilyev V. V., J. Appl. Phys. **121**, 125304 (2017).
13. Gorshkov D. V., Sidorov G. Yu., Sabinina I. V., Sidorov Yu. G., Marin D. V., and Yakushev M. V., Tech. Phys. Lett. **46** (8), 741–744 (2020).
14. Kashuba A. S., Golovin S. V., Boltar K. O., Permikina E. V., and Atrashkov A. S., Applied physics, № 4, 76–79 (2014) [in Russian].
15. Kim S., Lee S.-H., Jo I. H., Seo J., Yoo Y.-E., and Kim J. H., Sci. Rep. **12**, 5124 (2022).
16. Schroder D. K. Semiconductor Material and Device Characterization. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2015.
17. Sze S. M. Physics of Semiconductor Devices. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
18. Hansen G. L., Schmit J. L., and Casselman T. N., J. Appl. Phys. **53**, 7099–101 (1982).
19. Voitsekhovskii A. V., Gorn D. I., Izhnin I. I., Izhnin A. I., Goldin V. D., Mikhailov N. N., Dvoretzskii S. A., Sidorov Yu. G., Yakushev M. V., and Varavin V. S., Russ. Phys. J. **55**, 910–916 (2013).
20. Voitsekhovskii A. V., Nesmelov S. N., and Dzyadukh S. M., Russ. Phys. J. **58**, 540–551 (2015).

Об авторах

Романов Андрей Андреевич, инженер 2 категории, АО «НПО «Орион» (111538, Москва, Россия); НИТУ «МИСИС» (119049, Москва, Россия). E-mail: romanov.andrei.a@mail.ru ORCID: 0000-0003-3679-0393, Scopus AuthorID: 58778914000

Болтарь Константин Олегович, д.ф.-м.н., директор по прикладным разработкам, АО «НПО «Орион» (111538, Москва, Россия); Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) (141701, Московская обл., г. Долгопрудный, Россия). E-mail: boltarko@yandex.ru SPIN-код: 9249-2720, AuthorID: 171355

Трухачев Антон Владимирович, ведущий инженер, АО «НПО «Орион» (111538, Москва, Россия). E-mail: orionmoscow@mail.ru

Поляков Александр Яковлевич, к.т.н., профессор кафедры ППЭиФПП НИТУ «МИСИС» (119049, Москва, Россия). E-mail: aypolyakov@gmail.com ORCID: 0000-0001-6898-6126, Scopus AuthorID: 7201781040