

Свойства МДП структур на основе варизонного HgCdTe, выращенного методом молекулярно-лучевой эпитаксии

© А.В. Войцеховский*[¶], С.Н. Несмелов*, С.М. Дзядух*, В.С. Варавин⁺, С.А. Дворецкий⁺, Н.Н. Михайлов⁺, Ю.Г. Сидоров⁺, В.В. Васильев⁺

* Томский государственный университет,
634050 Томск, Россия

⁺ Институт физики полупроводников Сибирского отделения Российской академии наук,
630090 Новосибирск, Россия

(Получена 14 июня 2007 г. Принята к печати 5 февраля 2008 г.)

Экспериментально исследовано влияние приповерхностных варизонных слоев на электрические характеристики МДП структур, созданных на основе гетероэпитаксиального $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, выращенного методом молекулярно-лучевой эпитаксии с двухслойным диэлектриком $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ и анодной окисной пленкой. Показано, что в вольт-фарадных характеристиках структур с варизонными слоями наблюдается бóльшая модуляция емкости (глубина и ширина провала), чем для структур без варизонного слоя. Полевые зависимости фотоэдс МДП структур с варизонными слоями у поверхности имели классический вид и характеризовались спадом только в области обогащения. Для структур без варизонного слоя с $x = 0.22$ в области сильной инверсии наблюдался спад зависимости фотоэдс от напряжения, обусловленный ограничением дифференциального сопротивления области пространственного заряда процессами туннельной генерации через глубокие уровни. Исследованы свойства границ раздела HgCdTe–диэлектрик.

PACS: 72.40.+w, 73.40.Qv, 72.80.Sk, 73.20.At

1. Введение

Узкозонный твердый раствор $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ (кадмий–ртуть–теллур, КРТ) является основным материалом для создания высокочувствительных инфракрасных детекторов, действующих в спектральных диапазонах окон прозрачности атмосферы 3–5 и 8–12 мкм [1–3]. Использование метода молекулярно-лучевой эпитаксии предоставляет возможности создания пленок HgCdTe с заданными профилями распределения по толщине компонентного состава и легирующей примеси. Интерес к структурам металл–диэлектрик–полупроводник (МДП) на основе варизонного эпитаксиального HgCdTe обусловлен необходимостью пассивации поверхности матриц фотодиодов на основе HgCdTe, а также дополнительными возможностями, предоставляемыми варизонными структурами для разработки монолитных конструкций детекторов. Несмотря на то что существует ряд работ, посвященных теоретическому анализу процессов в МДП структурах на основе варизонных полупроводников [4], экспериментальных данных в настоящее время явно недостаточно. В работе [5] исследованы вольт-фарадные характеристики МДП структур на основе $p\text{-HgCdTe}$ с широкозонным варизонным слоем у поверхности, но только для материала состава с $x = 0.27$.

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований электрофизических и фотоэлектрических характеристик варизонных МДП структур на основе $\text{HgCdTe}/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ и $\text{HgCdTe}/\text{АОП}$ (АОП — анодная окисная пленка) для материала состава с $x = 0.21\text{--}0.23$ n - и p -типа проводимости.

2. Образцы и методики эксперимента

Исследуемые МДП структуры изготавливались на основе $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ дырочного ($x = 0.22$) и электронного ($x = 0.21\text{--}0.23$) типов проводимости, выращенного методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках GaAs (013). При выращивании гетероструктур с обеих сторон рабочего слоя (толщина 7.7–8.3 мкм, $x = 0.21\text{--}0.23$) создавались варизонные слои с повышенным содержанием CdTe (толщина приповерхностного варизонного слоя 0.5–0.7 мкм, причем у поверхности $x = 0.43\text{--}0.48$). На рис. 1 показан пример распределения состава в исследованных варизонных структурах, определенный с помощью автоматического эллипсометра в процессе роста [2].

Перед нанесением диэлектрических покрытий методом Холла определялись электрические параметры материала, а время жизни неосновных носителей τ определялось методом релаксации фотосигнала при помощи бесконтактной СВЧ методики. Для исследованных образцов $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x = 0.21\text{--}0.23$) подвижность основных носителей изменялась от 16 000 до 78 000 $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, время жизни носителей заряда от 0.03 до 10 нс, концентрация основных носителей $n = 2 \cdot 10^{14}\text{--}4.9 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Для образцов p -типа проводимости ($x = 0.22$) подвижность основных носителей заряда изменялась от 420 до 510 $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, время жизни носителей заряда не превышало 10 нс, концентрация основных носителей составляла $p = 8.4 \cdot 10^{14}\text{--}3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Исходная проводимость для исследованных образцов изменялась от 0.63 до 116 $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

[¶] E-mail: vav@elefot.tsu.ru

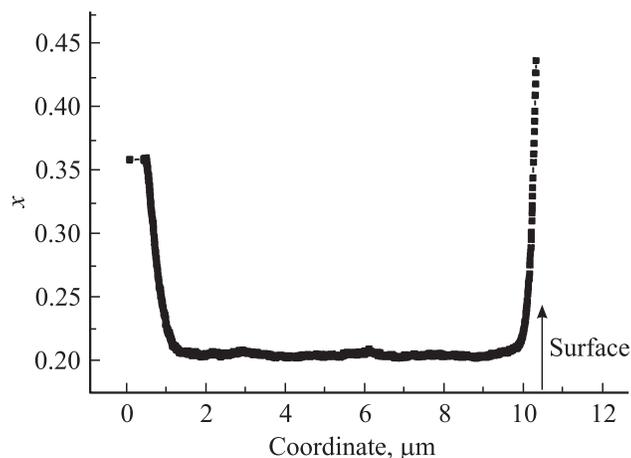


Рис. 1. Пример распределения состава по толщине пленки для варизонных структур.

В качестве пассивирующего покрытия для структур использовался двухслойный диэлектрик $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$, который наносился низкотемпературным плазмохимическим методом, для ряда структур для сравнения в качестве диэлектрика использовалась анодная оксидная пленка (АОП), полученная при использовании аммиачного или КОН-источника. Диэлектрическое покрытие (пленка анодного оксида или низкотемпературный плазмо-химический диэлектрик $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$) для части гетероструктур наносилось сверху варизонного слоя, а для других гетероструктур непосредственно на HgCdTe после удаления приповерхностного варизонного слоя путем травления в $\text{HBr}-\text{Br}_2$. На поверхности диэлектрика каждого образца формировалась матрица из более 50 индиевых электродов толщиной 0.5 мкм и размером 0.5×0.5 мм. Тыльный контакт создавался на поверхности эпитаксиальной пленки после локального удаления диэлектрика.

Для исключения дефектообразующей операции распайки была создана камера, позволяющая измерять при температурах 80–300 К характеристики структур с использованием управляемого микрометрическими винтами тонкого вольфрамового зонда (диаметр 60 мкм). При исследовании влияния засветки на электрофизические характеристики, а также при измерении фотоэлектрических характеристик МДП структура освещалась через подложку (с обратной стороны) или с фронтальной стороны, длина волны излучения 0.94 мкм.

Измерялись зависимости фотоэдс от напряжения, частоты модуляции светового потока и температуры, а также вольт-фарадные и вольт-сименные характеристики МДП структур на разных частотах. За прямое направление развертки принималось изменение напряжения от отрицательных значений к положительным, а за обратное направление — от положительных к отрицательным. Скорость изменения напряжения смещения при измерениях не превышала 0.015 В/с.

3. Экспериментальные результаты

3.1. Особенности электрофизических характеристик, обусловленные сопротивлением объема эпитаксиальной пленки

На рис. 2, *a* приведены типичные зависимости емкости от напряжения смещения для МДП структуры $\text{HgCdTe}/\text{АОП}$. Как следует из рисунка, вольт-фарадные характеристики (ВФХ) имеют низкочастотный или промежуточный вид при частотах до 2 МГц, для ряда структур наблюдался спад емкости в областях сильной инверсии и сильного обогащения. Для всех исследованных образцов имело место уменьшение емкости в области сильной инверсии при увеличении частоты тестового сигнала. Дифференциальное сопротивление структуры уменьшалось при увеличении частоты, причем на по-

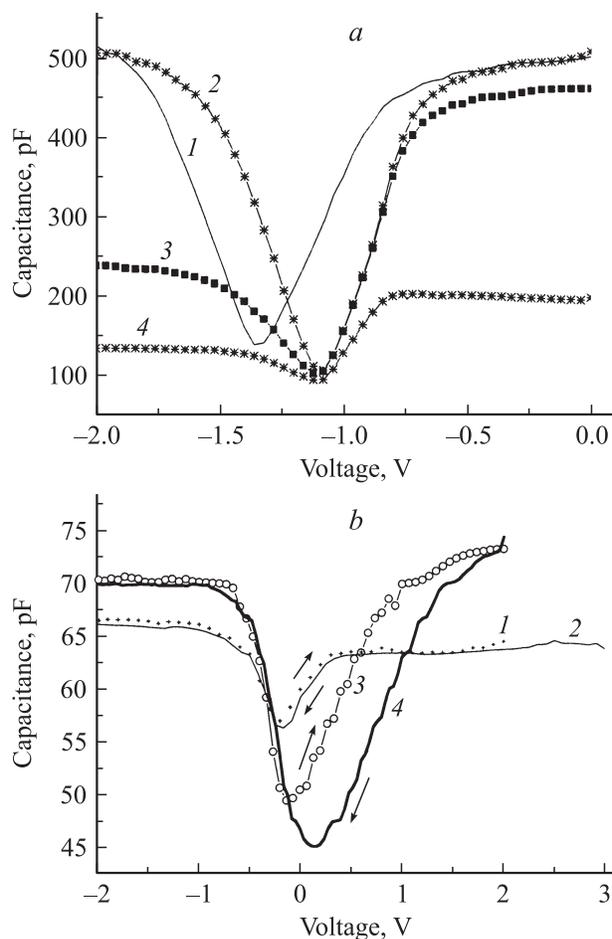


Рис. 2. Вольт-фарадные характеристики МДП структур: *a* — $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}/\text{АОП}$ ($x = 0.22$, $n = 3.5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$) с варизонным слоем; *b* — $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ ($x = 0.22$, $n = 4.5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$) без варизонного слоя (1, 2) и с варизонным слоем (3, 4). *a*: частота измерения 10 (1, 2), 200 (3), 1000 кГц (4); 1 — прямая развертка напряжения, (2–4) — обратная. *b*: частота измерения 200 кГц; (1, 3) — прямая развертка напряжения, (2, 4) — обратная.

левых зависимостях сопротивления наблюдался максимум в области обеднения—слабой инверсии. Различие вида зависимостей при прямой и обратной развертках напряжения связано с подвижным зарядом в диэлектрике. Для МДП структур HgCdTe/SiO₂/Si₃N₄ емкость диэлектрика составляла менее 100 пФ, причем отмечено уменьшение емкости в области обогащения на высоких частотах (рис. 2, *b*). Дифференциальное сопротивление в несколько раз превышает значения сопротивления для МДП структур HgCdTe/АОП, а увеличение дифференциального сопротивления в максимуме зависимости сопротивления от напряжения менее значительно.

Объяснить вид экспериментальных характеристик можно при помощи метода эквивалентных схем [6]. Частотные зависимости измеряемых в обогащении емкости и проводимости МДП структур на основе эпитаксиального HgCdTe определяются влиянием сопротивления объема эпитаксиальной пленки. Отметим, что при нулевом значении сопротивления объема измеряемая емкость и проводимость не зависят от частоты тестового сигнала. Влияние сопротивления объема на измеряемую емкость можно исключить путем соответствующей обработки экспериментальных данных. Для этого необходимо по экспериментальным данным найти значения параметров эквивалентной схемы и рассчитать ВФХ при нулевом сопротивлении объема. Сопротивление объема приводит к значительному изменению измеряемой емкости в режимах обогащения и сильной инверсии и незначительно влияет при напряжениях, соответствующих минимуму ВФХ. По данным измерения емкости и проводимости МДП структур в режиме обогащения легко найти значения сопротивления объема (R_b) и емкости диэлектрика (C_d). Для МДП структур на основе *n*-HgCdTe ($x = 0.21-0.23$) с варизонными приповерхностными слоями эти параметры равны $R_b = 50-400$ Ом, $C_d = 70-90$ пФ.

3.2. Особенности электрофизических и фотоэлектрических характеристик, обусловленные наличием приповерхностных варизонных слоев

Рассмотрим влияние наличия варизонных слоев на ВФХ МДП структур. На рис. 2, *b* приведены ВФХ МДП структур с двухслойным диэлектриком с варизонным слоем и без варизонного слоя при разных направлениях развертки напряжения. Из рисунка следует, что наличие варизонного слоя приводит к увеличению глубины и ширины провала на ВФХ. Это связано с изменением условий генерации неосновных носителей в приповерхностном слое полупроводника при уменьшении собственной концентрации в широкозонном варизонном слое.

Наличие варизонного слоя приводит к увеличению гистерезиса ВФХ для МДП структур с двухслойным диэлектриком (так же для МДП структуры с АОП), что может быть связано с захватом электронов на ловушки

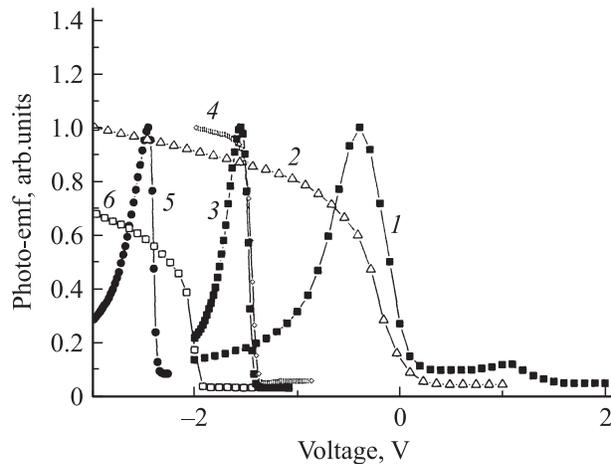


Рис. 3. Зависимости фотоэдса от напряжения для МДП структур на основе Hg_{1-x}Cd_xTe ($x = 0.22-0.23$) на частоте тестового сигнала 2 кГц: 1 — HgCdTe/SiO₂/Si₃N₄ без варизонного слоя, 2 — HgCdTe/SiO₂/Si₃N₄ с варизонным слоем, 3, 5 — HgCdTe/АОП без варизонного слоя, 4, 6 — HgCdTe/АОП с варизонным слоем; 3, 4 — анодный оксид выращен при использовании аммиачного источника, 5, 6 — при использовании КОН-источника.

в пограничном слое, который при наличии варизонного слоя обогащен оксидами кадмия. Для всех МДП структур HgCdTe/АОП типичен положительный фиксированный заряд, который может быть связан с вакансиями кислорода в АОП. Для МДП структур с двухслойным диэлектриком возможны различный знак и различные величины фиксированного заряда, что предоставляет возможности управления напряжением плоских зон.

На рис. 3 приведены зависимости фотоэдса от напряжения смещения, измеренные при засветке со стороны подложки на частоте 2 кГц при температуре 80 К, для образцов МДП структур, изготовленных из одной пластины *n*-HgCdTe ($x = 0.22$, $n = 3.5 \cdot 10^{14}$ см⁻³).

Для сравнения влияния свойств диэлектрика и границы раздела на фотоэлектрические характеристики исследовались МДП структуры с различными диэлектрическими покрытиями (SiO₂/Si₃N₄, пленки анодного окисла, выращенные при использовании аммиачного или КОН-источника). Как видно из рис. 3, при наличии варизонного слоя на поверхности зависимость фотоэдса от напряжения имеет классический вид: рост в режимах обеднения и слабой инверсии и насыщение в режиме сильной инверсии. В случае отсутствия варизонных слоев типичен спад фотоэдса в режиме сильной инверсии, т.е. на зависимости фотоэдса от напряжения наблюдается максимум при напряжениях, соответствующих обеднению—слабой инверсии. Необходимо отметить, что структуры с приповерхностными варизонными слоями характеризуются более низкими частотами отсечки, чем аналогичные структуры без варизонных слоев. Спад фотоэдса в режиме сильной инверсии не связан с типом использованного диэлектрического покрытия, а

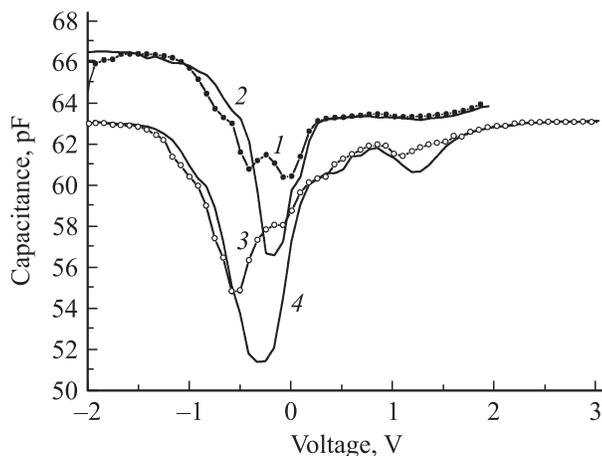


Рис. 4. Вольт-фарадные характеристики МДП структур на основе $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x = 0.22$, $n = 4.5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$) без варизонного слоя в темноте (2, 4) и при освещении (1, 3). Частота измерений: 1, 2 — 200 кГц, 3, 4 — 1 МГц.

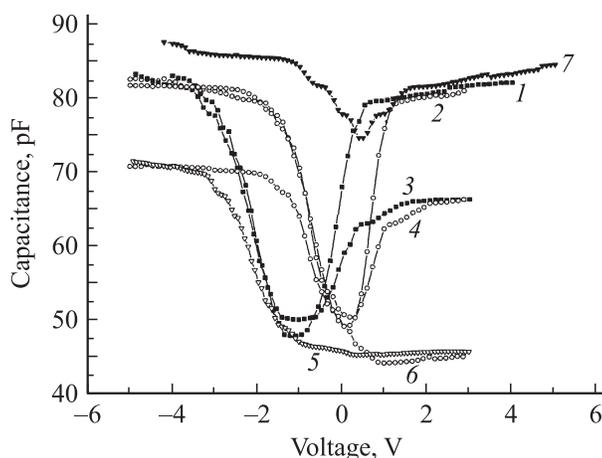


Рис. 5. Вольт-фарадные характеристики МДП структур на основе $p\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x = 0.22$, $p = 1.1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) с варизонным слоем (1–6) и без варизонного слоя (7). Частота, кГц: 1, 2, 7 — 10; 3, 4 — 200; 5, 6 — 1000. 1, 3, 5, 7 — прямая развертка напряжения, 2, 4, 6 — обратная.

определяется свойствами полупроводника и обусловлен уменьшением дифференциального сопротивления области пространственного заряда за счет туннельной генерации через глубокие уровни. Интересным фактом оказалось то, что для МДП структур с наибольшим спадом фотоэдс в режиме сильной инверсии при освещении на вольт-фарадных и вольт-сименсных характеристиках наблюдались особенности, связанные с проявлением емкости, обусловленной глубоким уровнем (рис. 4). Без освещения данные особенности вольт-фарадных характеристик отсутствовали для некоторых образцов, а для некоторых наблюдалась „полочка“ на ВФХ при напряжениях, соответствующих обеднению. По данным фотоэлектрических и электрофизических измерений энергия

глубокого уровня составляет 0.04–0.05 эВ от потолка валентной зоны.

На рис. 5 приведены ВФХ МДП структур на основе $p\text{-HgCdTe}$ с варизонным слоем. Для $p\text{-HgCdTe}$ в случае наличия варизонного слоя наблюдается широкий и глубокий провал на ВФХ, как и для $n\text{-HgCdTe}$. Полевые зависимости фотоэдс также имели классический вид для МДП структур с варизонным приповерхностным слоем.

3.3. Свойства границ раздела $\text{HgCdTe}/\text{АОП}$ и $\text{HgCdTe}/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$

Для анализа плотности поверхностных состояний в МДП структурах на основе варизонного КРТ необходима методика построения идеальных ВФХ для таких структур. Нами проведен расчет ВФХ МДП структур с приповерхностными варизонными слоями путем численного решения уравнения Пуассона для конкретных распределений компонентного состава в приповерхностном слое. На рис. 6 показаны расчетные и экспериментальные ВАХ для МДП структур с варизонным слоем и без варизонного слоя.

Рассчитав идеальные ВФХ МДП структур, можно путем сравнения экспериментальных и идеальных ВФХ оценить некоторые параметры границы раздела и диэлектрика. Плотность поверхностных состояний определялась в минимуме ВФХ методом Берглунда.

Из проведенных экспериментов следует вывод, что плотность поверхностных состояний существенно меньше для МДП структур с варизонным слоем. Плотность поверхностных состояний (ПС) МДП структур с варизонными слоями составляет вблизи середины запрещенной зоны $(0.64\text{--}1.7) \cdot 10^{11} \text{ эВ}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ для МДП структур $\text{HgCdTe}/\text{АОП}$. Для МДП структур $\text{HgCdTe}/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ с варизонными слоями плотность ПС изменяется от $1.17 \cdot 10^{11}$ до $3.83 \cdot 10^{11} \text{ эВ}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ (эти структуры обладали большими фиксированным

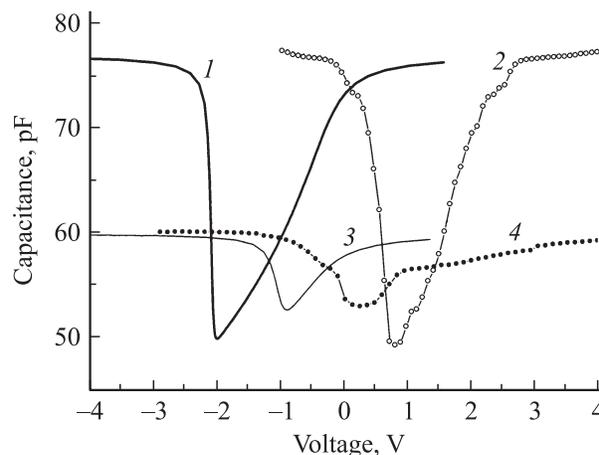


Рис. 6. Расчетные (1, 3) и экспериментальные (2, 4) вольт-фарадные характеристики для МДП структуры на основе $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x = 0.22$, $n = 10^{16} \text{ см}^{-3}$) с варизонным слоем (1, 2) и без варизонного слоя (3, 4). Частота 10 кГц.

и подвижным зарядами). Для МДП структур без варизонного слоя минимальная плотность ПС была значительно больше и изменялась от $5.45 \cdot 10^{11}$ до $1.5 \cdot 10^{12} \text{ эВ}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$.

Проведено сравнение свойств МДП структур с различными диэлектриками. МДП структуры с анодным оксидом обладают большой емкостью диэлектрика (600–700 пФ), большей модуляцией емкости на низких частотах (300–500 пФ) и дифференциальным сопротивлением на 1 МГц в области обогащения менее 1000 Ом. Подача напряжения (–3)–(–4) В, соответствующего сильной инверсии, может приводить к пробою АОП. В исходном состоянии напряжение плоских зон для МДП структур HgCdTe/АОП составляет около –0.5 В, что соответствует плотности приведенного к границе раздела заряда 10^{-3} Кл/м^2 . После подачи отрицательного напряжения, соответствующего инверсии, характеристики МДП структур сдвигаются в область отрицательных напряжений, что свидетельствует о накоплении в АОП положительного заряда. Напряжение плоских зон МДП структур HgCdTe/АОП зависит от того, какой амплитуды отрицательное напряжение прикладывалось к данной структуре. Для МДП структур HgCdTe/АОП при нулевом смещении реализуется режим обогащения.

МДП структуры с двухслойным диэлектриком ($\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$) обладают малой емкостью диэлектрика (70–90 пФ), что связано с меньшей по сравнению с АОП диэлектрической проницаемостью $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$, малой модуляцией емкости (менее 25 пФ), дифференциальное сопротивление в обогащении на 1 МГц составляет 5–15 кОм. Подача напряжений в диапазоне (–10)–(+10) В не приводит к пробою диэлектрика, а также к накоплению фиксированного заряда в диэлектрике. Напряжение плоских зон составляет обычно около 0.4 В, что соответствует плотности приведенного к границе раздела фиксированного заряда $8 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/м}^2$. При нулевом смещении для МДП структур HgCdTe/ $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ реализуются режимы обеднения–слабой инверсии. Гистерезис инжекционного типа при прямой и обратной развертке напряжения наблюдался для МДП структур HgCdTe/АОП и HgCdTe/ $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$. Наличие варизонного слоя приводит к увеличению величины гистерезиса для МДП структур с различными диэлектриками. Для МДП структур без варизонного слоя гистерезис незначителен для МДП структур HgCdTe/ $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$.

4. Заключение

Таким образом, выявлены особенности вольт-фарадных характеристик и зависимостей фотоэдс от напряжения, связанные с наличием приповерхностных варизонных слоев для МДП структур на основе *n*- и *p*-HgCdTe с различными диэлектриками.

Установлено, что наличие приповерхностного варизонного слоя в полупроводниковой подложке *n*-Hg_{1-x}Cd_xTe приводит к увеличению глубины и ширины провала на ВФХ МДП структуры, а также к увеличению гистерезиса ВФХ независимо от типа диэлектрика. Показано, что при 77 К зависимости фотоэдс от напряжения МДП структур на основе *n*-HgCdTe ($x = 0.21-0.23$) с приповерхностными варизонными широкозонными слоями имеют классический вид, а для МДП структур на основе *n*-HgCdTe ($x = 0.22$) без варизонных слоев наблюдается спад фотоэдс в области сильной инверсии, обусловленный уменьшением дифференциального сопротивления области пространственного заряда за счет туннельной генерации через глубокие уровни. При этом отмечено проявление глубоких уровней на вольт-фарадных характеристиках при освещении исследуемых МДП структур.

Из сравнения экспериментальных и расчетных ВФХ МДП структур с учетом приповерхностных варизонных слоев определены значения напряжений плоских зон, плотности подвижного и фиксированного зарядов для исследованных МДП структур. Показано, что для всех структур с АОП типичен положительный фиксированный заряд плотностью $(1.85-4) \cdot 10^{-3} \text{ Кл/м}^2$, для МДП структур HgCdTe/ $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ типичен малый отрицательный заряд, плотность которого не превышает $2 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}^2$. Для МДП структур с различными диэлектриками наблюдалось увеличение плотности подвижного заряда в случае наличия варизонных слоев. Например, для образцов с варизонным слоем плотность подвижного заряда составляет $6.06 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/м}^2$, а для образцов без варизонного слоя $2.11 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/м}^2$.

Показано, что плотность поверхностных состояний, рассчитанная вблизи середины запрещенной зоны методом Берглунда, существенно меньше для МДП структур на основе HgCdTe/АОП с варизонным слоем. Плотность поверхностных состояний вблизи середины запрещенной зоны для таких МДП структур с варизонными слоями составляла $(0.64-1.7) \cdot 10^{11} \text{ эВ}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$.

Для МДП структур HgCdTe/ $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ с варизонными слоями плотность поверхностных состояний меняется от $1.17 \cdot 10^{11}$ до $3.83 \cdot 10^{11} \text{ эВ}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$.

Для МДП структур HgCdTe/АОП при нулевом напряжении реализуется режим обогащения, а для МДП структур HgCdTe/ $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ возможны различные режимы, в том числе и режим плоских зон. Таким образом, низкотемпературный диэлектрик $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ может быть применен для пассивации поверхности матричных приборных структур на основе HgCdTe, что обусловлено возможностью технологического управления величинами фиксированного заряда в диэлектрике, а также минимальной плотностью поверхностных состояний.

Авторы благодарят за помощь в изготовлении структур Т.И. Захарьяш, Ю.П. Машукова.

Данная работа поддержана грантом РФФИ № 07-08-12114-офи.

Список литературы

- [1] А. Рогальский. *Инфракрасные детекторы* (Новосибирск, Наука, 2003).
- [2] В.Н. Овсяк, Г.Л. Курышев, Ю.Г. Сидоров и др. *Матричные фотоприемники инфракрасного диапазона* (Новосибирск, Наука, 2001).
- [3] А.В. Войцеховский, В.Н. Давыдов. *Фотозлектрические МДП-структуры из узкозонных полупроводников* (Томск, Радио и связь, 1990).
- [4] Е.В. Бузанева. *Микроструктуры интегральной электроники* (М., Радио и связь, 1990) гл. 3, ч. 3.4, с. 105.
- [5] В.В. Васильев, Ю.П. Машуков. ФТП, **41** (1), 38 (2007).
- [6] А.В. Войцеховский, С.Н. Несмелов, С.М. Дзядух. Изв. вузов. Физика, № 6, 31 (2005).

Редактор Л.В. Шаронова

Properties of MIS-structures on the base of graded-band CdHgTe, grown by molecular-beam epitaxy

A.V. Voitsekhovskii*, S.N. Nesmelov*,
S.M. Dzyadookh*, V.S. Varavin⁺, S.A. Dvoretiskii⁺,
N.N. Mikhailov⁺, Yu.G. Sidorov⁺, V.V. Vasiliev⁺

* Tomsk State University,
634050 Tomsk, Russia

⁺ Institute of Semiconductor Physics,
Russian Academy of Sciences, Siberian Branch,
630090 Novosibirsk, Russia

Abstract The influence of near-surface, graded-band layers on electrical characteristics of MIS structures, created on the base of heteroepitaxial $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ grown by molecular-beam epitaxy with double-layer insulator $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ or with anodic-oxide film was experimental investigated. It was shown that capacitance–voltage characteristics for MIS structures with graded-band layers had a larger modulation of capacitance (deep and width of depression) than for structures without graded-band layers. The dependencies of photo-emf on voltage for structures with near-surface graded-band layers had a classical behaviour and were characterized by a drop only in the enhancement region. For the structures without graded-band layers the photo-emf drop in the heavy inversion region was observed. It was shown that for structures without graded-band layers at $x = 0.22$ in the heavy inversion regime the differential resistance of space-charge region was limited by processes of tunnel generation via deep levels. The properties of interfaces HgCdTe –insulator were investigated.