

15. Микроскопы/Под ред. Н. И. Полякова. — Л.: Машиностроение, 1969.

16. *Kuryshv G. L., Polovinkin V. G.* Differential method of instrument resolution enhancement//Proceedings of the second IASTED International Multi-conference Automation, Control, and Applications (ACIT-ATA). June 20—24. — Novosibirsk, Russia. P. 75.

17. *Ли И. И., Курьшев Г. Л.* Устройство считывания с МДП-фотоприемников: Пат. 2282270. Приоритет от 11.04.2005 г.

18. *Ли И. И., Базовкин В. М., Валишева Н. А., Гузев А. А., Ефимов В. М., Ковчавцев А. П., Курьшев Г. Л., Половинкин В. Г.* Фотоприемное устройство на основе матрицы МДП ИК-фотодиодов на InAs для регистрации импульсных оптических сигналов//Прикладная физика. 2007. № 2. С. 68.

19. *Корнюшкин Н. А., Валишева Н. А., Ковчавцев А. П., Курьшев Г. Л.* Влияние свойств границы раздела и глубоких

уровней в запрещенной зоне на вольт-фарадные характеристики МДП-структур на арсениде индия//ФТП. 1996. № 30(5). С. 914.

20. *Базовкин В. М., Валишева Н. А.* и др. Гибридное фотоприемное устройство на основе линейки 1×384 InAs МДП-структур для спектрометрических применений//Прикладная физика. 2003. № 6. С. 85.

21. *Азам Р., Башара Н.* Эллипсометрия и поляризованный свет. — М.: Мир, 1981.

22. *Базовкин В. М., Половинкин В. Г.* и др. Фотоэлектрические свойства спектрометрического модуля 1×384 InAs в составе быстродействующего ИК-спектрометра: Матер. 9-й конф. "Арсенид галлия и полупроводниковые соединения группы III—V". — Томск, 3—5 октября 2006. С. 416.

Статья поступила в редакцию 9 октября 2008 г.

Ultimate parameters of multielement hybrid MOS InAs IR FPA and devices based of them

G. L. Kuryshv, I. I. Lee, V. M. Bazovkin, N. A. Valisheva, A. A. Guzev, V. M. Efimov, A. P. Kovchavtsev, V. G. Polovinkin, A. S. Stroganov
A. B. Rzhzanov Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Results of experimental investigation of various linear and matrix hybrid modules and IR systems (a thermography system, IR microscope, and fast spectrograph) based on InAs CID devices are presented.

PACS: 85.60.Gz

УДК 621.315.5

Фоточувствительные свойства структур ZnTe/CdTe/HgCdTe

А. А. Гузев, В. С. Варавин, С. А. Дворецкий, А. П. Ковчавцев, Г. Л. Курьшев, И. И. Ли, З. В. Панова, Ю. Г. Сидоров, М. В. Якушев
Институт физики полупроводников СО РАН им. А. В. Ржанова, г. Новосибирск, Россия

Представлены результаты исследования многослойной системы на основе эпитаксиальной пленки HgCdTe с тонкими слоями CdTe, ZnTe. Структуры характеризуются отсутствием гистерезиса, низкой плотностью встроенного заряда и плотностью поверхностных состояний $N_{ss} < 3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$. Такая система близка по ряду характеристик к структурам металл—диэлектрик—полупроводник (МДП) и представляет перспективную для создания многоэлементных ИК ФПУ на основе КРТ.

PACS: 73.40.QV

Введение

Известно использование МДП-структур на основе InAs, HgCdTe в качестве фоточувствительных элементов спектрального диапазона 3—5 мкм [1]. Основной проблемой является задача создания качественной границы раздела диэлектрик—полупроводник и диэлектрик, обеспечивающей работу МДП-структуры в режиме неравновесного обеднения. Однако для выращивания качественно-

го подзатворного диэлектрика (двуокись и нитрид кремния) требуется проводить процесс с нагревом подложек до температуры выше 180 °С, что резко ухудшает свойства фоточувствительного слоя. Представляется перспективным использование вместо диэлектрика широкозонных полупроводниковых пленок A_2B_6 (CdTe, ZnTe), выращенных на поверхности слоя КРТ без контакта с атмосферой.

Изучаются свойства многослойной системы: полупроводник (пленка КРТ 6—8 мкм); тонкие слои CdTe, ZnTe; металл. При температурах, близких к температуре жидкого азота, широкозонные полупроводники CdTe ($\Delta E = 1,5$ эВ) и ZnTe ($\Delta E = 2,37$ эВ) обладают изолирующими свойствами. Приложенный потенциал между полупроводником и металлом в такой системе, как и в МДП-структурах, позволяет управлять изгибом энергетических зон в КРТ и создавать инверсию при постоянном потенциале или неравновесное обеднение при подаче обедняющего импульсного напряжения. Важно знать такие свойства границы раздела CdTe—КРТ, как начальный изгиб зон, плотность поверхностных состояний, генерационно-рекомбинационные характеристики в приповерхностной области полупроводника и на границе раздела, а также сквозной ток и потери на переменном сигнале.

Образцы и методика эксперимента

Рост гетероэпитаксиальных структур HgCdTe (КРТ) на подложке GaAs диаметром 50,8 мм ориентированной по плоскости (310), осуществлялся на многокамерной сверхвысоковакуумной установке молекулярно-лучевой эпитаксии "Обь". Установка включала камеры загрузки-выгрузки, камеру предэпитаксиального отжига, камеру роста буферных слоев и камеру роста КРТ. В качестве *in situ*, методов контроля процессов предэпитаксиальной подготовки и роста использовались дифракция быстрых электронов (ДБЭ) и одноволновая эллипсометрия (длина волны $\lambda = 632,8$ нм) [2].

Создание образцов проводилось в два этапа. На первом этапе по стандартной технологии, разработанной для роста гетероэпитаксиальных структур HgCdTe/GaAs (310), выращивались слои HgCdTe толщиной ~ 6—8 мкм и мольной долей CdTe — 30—35 %, после чего без извлечения на атмосферу на поверхности КРТ выращивались пассивирующие слои CdTe и ZnTe толщиной 0,1—0,2 мкм, далее формировались металлические (Au либо In) электроды. Контакт к слою КРТ осуществлялся с помощью пайки к торцу кристалла.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) при приложении напряжения между металлическим электродом и полупроводником КРТ, вольт-фарадные характеристики (ВФХ), малосигнальный адмитанс МДП-структур измерялись на частотах 1,6 и 16 кГц при температуре 78 и 300 К, соответственно.

Результаты и обсуждение

При $T \approx 300$ К структуры с золотым электродом имели ВАХ, близкие к омическим с низким сопротивлением. Поперечная проводимость слоев CdTe,

ZnTe при площади $S = 5 \cdot 10^{-3}$ см² и напряжении вблизи нуля слоя не превышала $< 10^5$ Ом⁻¹. Структуры с индиевым электродом имели неомические ВАХ типа *p-n*-перехода, по-видимому, связанные с возникновением барьера металл—полупроводник. Поперечная проводимость при $U_g = 0$ В, $S = 2,6 \cdot 10^{-3}$ см² выше 10^7 Ом⁻¹.

На рис. 1 представлена типичная зависимость ВАХ при 78 К. При отрицательном напряжении в темноте ток слабо меняется до напряжения -10 В (кривая 1). Кривые 2—5 получены при небольших аперттурах подсветки фоном комнатной температуры. Огибающая 6 (пунктир) соответствует максимальной интенсивности подсветки. Такое поведение ВАХ можно объяснить следующим образом. Огибающая 6 характеризует барьерную ВАХ структуры металл — ZnTe—CdTe (КРТ), где слой КРТ обогащен основными носителями вблизи поверхности. При увеличении отрицательного смещения $U_g < -1$ В в КРТ формируется область обеднения (ОПЗ) с высоким сопротивлением, ограничивающим ток при $-U$ (кривая 1). При фоновой подсветке за счет генерации носителей в ОПЗ наблюдается возрастание тока (кривые 2—5).

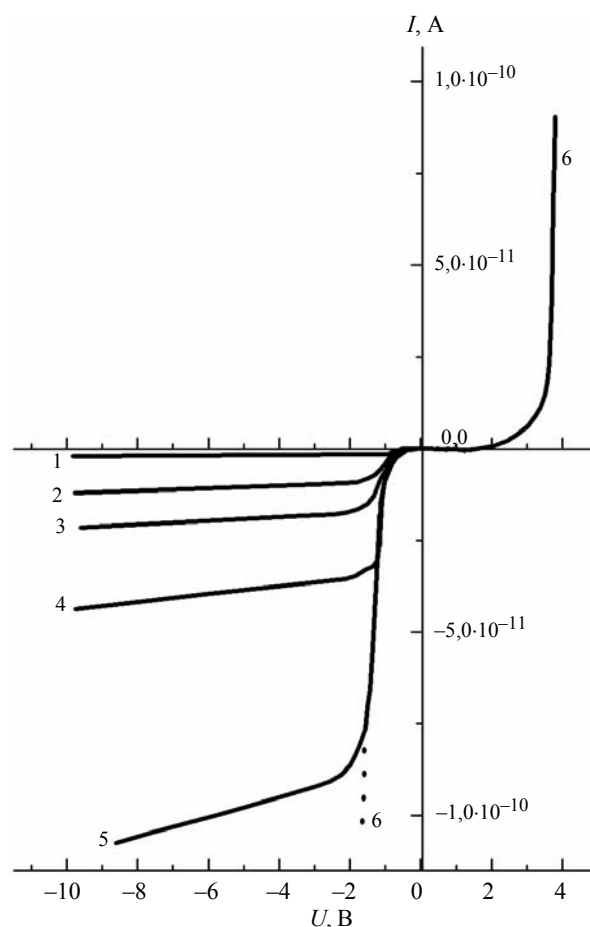


Рис. 1. ВАХ структуры: 1 — темновая; 2—5 — с различной подсветкой фоном ($T = 300$ К); 6 — огибающая, при сильной засветке

Для понимания экспериментальных зависимостей необходимо отметить, что в системе используются непрозрачные электроды (In, золото), поэтому образец чувствителен к подсветке только по периферии. Высокая чувствительность к длинноволновому ИК-излучению (фон 300 К) показывает, что зависимость тока от подсветки обусловлена полупроводниковым слоем КРТ. Особенностью рассматриваемой многослойной системы является отсутствие инверсионного слоя неосновных носителей вблизи поверхности КРТ при отрицательном смещении на электроде (в отличие от МДП-структур). Такая ситуация возникает из-за конечного сопротивления пленок CdTe, ZnTe, через которые неосновные носители, генерируемые в ОПЗ, вытягиваются в металлический электрод. В этом случае система подобна обратному смещенному *p-n*-переходу.

На рис. 2 приведены ВФХ-структуры, записанные при $T = 78$ К, $f = 16$ кГц. Кривая 1 показывает модуляцию емкости от обогащения до глубокого обеднения в темноте. Напряжения плоских зон U_{FB} находятся вблизи $U_g = 0$, что свидетельствует об отсутствии заметного встроенного заряда в пленках CdTe, ZnTe. Кривая 2 записана при засветке структуры видимым светом, темновая кривая 3 — после засветки при $T = 78$ К. На всех кривых темные точки соответствуют прямой, а светлые — обратной развертке напряжения U_g и свидетельствуют о практическом отсутствии гистерезиса ВФХ. Сдвиг кривой 3 после засветки видимым светом показывает накопление положительного заряда в пленках, связанное, по-видимому, с фотоперезарядкой глубоких уровней (ГУ) в широкозонных слоях CdTe, ZnTe. Отсутствие гистерезиса на кривой 2 говорит об отсутствии полевой перезарядки этих ГУ.

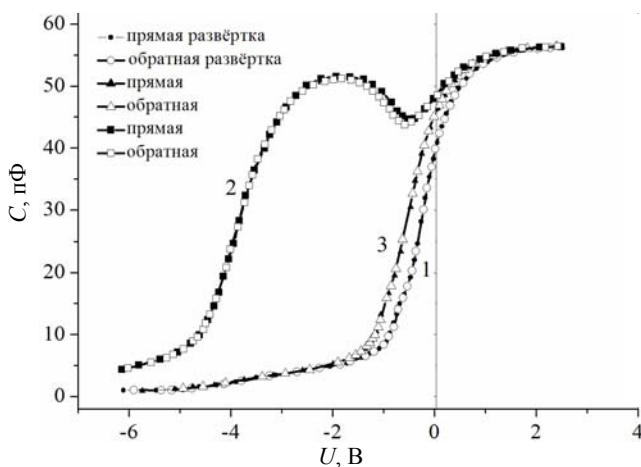


Рис. 2. ВФХ структуры:

- 1 — темновая; 2 — при засветке видимым светом;
3 — темновая после засветки видимым светом

Следует отметить, что при засветке ИК-излучением через германиевый фильтр ($T \sim 500$ К)

эффект перезарядки ГУ отсутствует, хотя также наблюдается подъем емкости C в области отрицательных U_g . Падение емкости на кривой 2 связано с соотношением линейного размера электрода (~ 500 мкм) и толщиной слоя КРТ ($d \approx 6,4$ мкм) на изолирующей подложке GaAs. При $U_g \approx -5$ и -6 В слой обеднения распространяется на всю толщину слоя КРТ, при этом падает емкость между контактом к слою КРТ и металлическим электродом.

На рис. 3, а показаны зависимости емкости $C(U_g)$ и проводимости $G(U_g)$ структур с Au-электродом ($S = 6 \cdot 10^{-3}$ см²) на двух частотах 1,6 и 16 кГц. Различие в величинах реактивной составляющей адмитанса $C(U_g)$ объясняется наличием сопротивления тонкого слоя КРТ, включенного последовательно с измеряемой емкостью, что является типичным для структур, сформированных подобным образом, и рассматривалось в работах [3, 4]. Напряжение плоских зон U_{FB} близко к 0. На частоте 1,6 кГц последовательное сопротивление практически не вносит вклад в измерение емкости.

Особенностью $C(U_g)$ -характеристики являются наличие ступеньки и спад емкости в инверсии до малых значений (~ 2 пФ). Ступеньку можно объяснить как начало выхода $C(U_g)$ на инверсионную емкость, которая имеет постоянное значение при отрицательном смещении. Дальнейшее снижение емкости происходит из-за нарушения равновесия, обусловленного сквозным током при росте напряжения на металлическом электроде (при $U_g < -1$ В). Носители из инверсионного слоя вытягиваются электрическим полем в электрод, ОПЗ расширяется и емкость, соответственно, уменьшается, выходя на насыщение при U_g около 5—6 В (см. аналогично рис. 2).

Зависимость малосигнальной проводимости $G(U_g)$ на такой же структуре с золотым электродом, приведенная на рис. 3, а, показывает, что в области обогащения ($U_g > 0$) достаточно большие потери при $f = 16$ кГц (~ 6 мкс) связаны с сопротивлением слоя КРТ, включенным последовательно с емкостью. Спад проводимости в области $-U_g$, повторяющий спад $C(U_g)$, связан с зависимостью $G(U_g) \sim (C\omega)^2$ при сопротивлении, включенном последовательно с емкостью. На фоне этой зависимости не обнаруживается пик поверхностных состояний, что свидетельствует о низкой их концентрации.

Подобные измерения $C(U_g)$ и $G(U_g)$ были проведены на образцах с In-электродом (меньшей площади $S = 2 \cdot 10^{-3}$ см²). Из рис. 3, б видно, что при этом $C(U_g)$ на различных частотах совпадают. Зависимость $C(U_g)$ не имеет ступеньки, является неравновесной и падает до постоянного минимального значения при $U_g > -6$ В, как и в предыдущем случае. Измеряемая структура была выбра-

на таким образом, чтобы последовательное с емкостью сопротивление слоя КРТ было минимальным. Емкость, измеренная вблизи $U_g = 0$ при $T \sim 300$ К, совпадает с емкостью в обогащении при $T \sim 78$ К. Это позволяет сделать вывод, что диэлектрическая постоянная при температуре жидкого азота и комнатной одинакова. Расчет диэлектрической постоянной ϵ из емкостных измерений дает величину $\sim 9,5$, что близко к литературным данным для CdTe (10,6), ZnTe (10,1). Заметим, что при изготовлении МДП-структур на КРТ с низкотемпературным синтезом диэлектриков различие величины ϵ этих диэлектриков при 300 и 78 К, как правило, составляет 30 ~ 60 %. Проводимость $G(U_g)$ на этой структуре (см. рис. 3, б) более чем на порядок ниже, чем на предыдущей структуре (см. рис. 3, а). Это подтверждает причину высокой $G(U_g)$ из-за последовательного сопротивления слоя КРТ. $G(U_g)$ повторяет ход $C(U_g)$ (см. рис. 3, б) и, несмотря на более низкие значения проводимо-

сти, здесь также не обнаруживается пик поверхностных состояний, т. е. граница раздела на этих образцах достаточно совершенна. По отсутствию пика на зависимости $G(U_g)$, связанного с плотностью поверхностных состояний, последняя оценивается на уровне $N_{ss} < 3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$.

Заключение

Приведены результаты экспериментального обслеживания многослойной системы — эпитаксиальная пленка HgCdTe с тонкими слоями CdTe, ZnTe, полученной методом МЛЭ. Особенность процесса роста заключается в том, что пассивирующие слои CdTe и ZnTe толщиной 0,1—0,2 мкм синтезировались без извлечения на атмосферу. Показано, что данная система характеризуется совершенной границей раздела, отсутствием гистерезиса, низкой плотностью встроенного заряда и плотно-

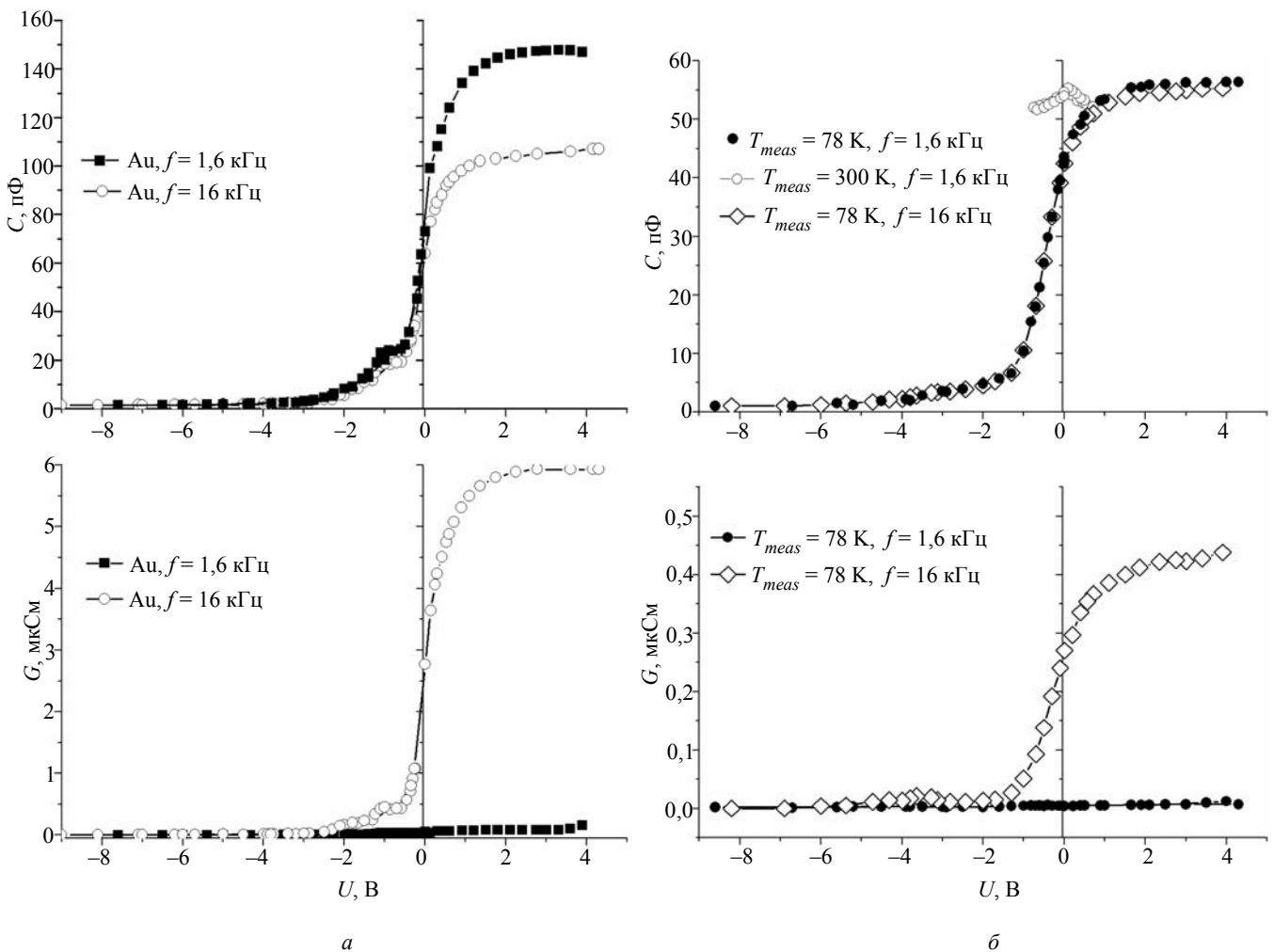


Рис. 3. Реактивная $C(U_g)$ и активная $G(U_g)$ составляющие адмитанса структуры: а — с Au-электродом; б — с In-электродом

стью поверхностных состояний $N_{ss} < 3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$. Система перспективна для реализации многоэлементных ИК ФПУ.

Литература

1. Овсяк В. Н., Курьишев Г. Л., Сидоров Ю. Г. и др. Матричные фотоприемные устройства инфракрасного диапазона. — Новосибирск: Наука, 2001. С. 10—118.

2. Sidorov Yu. G., Dvoretzky S. A., Varavin V. S. et al. Molecular Beam Epitaxy of MCT Solid Solution on Alternative

Substrate/Semiconductor structures, Interfaces and Surfaces. 2001. V. 35. No 9. P. 1045—1053.

3. Войцеховский А. В., Несмелов С. Н., Кульчицкий Н. А. Емкостные свойства МДП-структур HgCdTe/SiO₂—Si₃N₄//Тонкие пленки в электронике: Матер. 16-го междунар. симпозиума. — М.: Техномаш, 2004. С. 141—147.

4. Войцеховский А. В., Несмелов С. Н., Дзядух С. М. Влияние сопротивления объема эпитаксиальной пленки на вольт-фарадные характеристики МДП-структур HgCdTe/АОП и HgCdTe/SiO₂—Si₃N₄/Известия вузов. Сер. Физика. 2005.

Статья поступила в редакцию 9 октября 2008 г.

Photosensitive properties of In/ZnTe/CdTe/HgCdTe structures

A. A. Guzev, V. S. Varavin, S. A. Dvoretzky, A. P. Kovchavtsev, G. L. Kuryshev,

I. I. Lee, Z. V. Panova, Yu. G. Sidorov, M. V. Yakushev

A. V. Rzhanov Institute of Semiconductor Physics

Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

The applications of HgCdTe MOS structures as photosensitive elements in the spectral range 3—5 μm is known. However, for fabrication a high-quality gate dielectric (silicon dioxide and nitride), it necessary to carry out the growth process at substrate heating above 180 °C, which deteriorates drastically the properties of semiconductor layers. It seems promising to use wide-gap II—VI semiconductor films which grown on the surface of the absorbing layer instead of the gate dielectric immediately after growing the HgCdTe working layer.

PACS: 73.40.QV

УДК 621.383

Перспективы использования фианита как материала микро- и фотоэлектроники для создания фотоприемников

А. Н. Бузынин, Е. Е. Ломонова

Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва, Россия

Н. В. Кравченко, М. С. Сидоров, М. А. Трищенко, А. М. Филачев, П. Е. Хакуашев

ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Рассмотрены перспективы использования фианита в фотоэлектронике. Показано, что этот материал особенно актуален в технологии фотоприемников на основе Ge, InGaAs. Указаны основные направления использования фианита в качестве защитного и стабилизирующего слоев подложки для эпитаксиальных слоев InGaAs и как диэлектрик в структуре "полупроводник на диэлектрике", где полупроводником является InGaAs.

PACS: 85.30.-z

Введение

Фианит — монокристалл кубических твердых растворов на основе диоксидов циркония или гафния со стабилизирующими окислами иттрия, скандия и лантанидов от гадолия до лютеция

(ZrO₂(HfO₂)·R₂O₃, где R — Y, Sc, Gd...Lu). Благодаря уникальному сочетанию физико-химических свойств фианит является чрезвычайно перспективным многофункциональным материалом новых электронных технологий. Последние годы в США, Японии и странах Юго-Восточной Азии наблюда-