

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/SiO<sub>2</sub>—Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>//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/SiO<sub>2</sub>—Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/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

(ZrO<sub>2</sub>(HfO<sub>2</sub>)·R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 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-

ется резкий рост интереса к различным аспектам применения фианита в микро-, опто- и СВЧ-электронике. К настоящему времени выяснилось, что фианит может быть использован практически во всех основных технологических звеньях создания электронных приборов: в качестве монолитной подложки и материала буферных слоев при эпитаксии; альтернативного  $\text{SiO}_2$  изолирующего слоя, подзатворного диэлектрика, а также защитного слоя приборных структур [1—9].

Впервые промышленная технология синтеза монокристаллов на основе  $\text{ZrO}_2$  была разработана в России в Физическом институте Академии наук СССР (ФИАН), что и дало название кристаллам. Уже в начале 70-х годов прошлого века был организован серийный выпуск фианитов. За рубежом эти кристаллы более известны под названием cubic zirconia или yttrium stabilized zirconia (YSZ). По объему производства кристаллы кубического диоксида циркония занимают второе место в мире после кремния.

Установлено, что фианит как подложка и буферный слой для эпитаксии Si и соединений  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$  имеет целый ряд преимуществ перед другими диэлектрическими материалами [2]. Широкий диапазон прозрачности фианита (260—7500 нм), полностью перекрывающий области поглощения и излучения соединений  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$  и твердых растворов на их основе, делает структуры "полупроводник на фианите" перспективными для создания различных оптоэлектронных приборов с повышенными характеристиками, в том числе: фотодиодов с барьером Шоттки, фотоспротивлений, светоизлучающих и лазерных диодов, лавинных фотоприемников. Показано, что тонкие пленки фианита и близких к нему твердых растворов, например  $\text{Zr}(\text{Ce})\text{O}_2$ , можно использовать в качестве материала изолирующих слоев (альтернативного  $\text{SiO}_2$ , SiC,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) при создании многослойных структур полупроводник—диэлектрик на основе Si, Ge, GaAs [3]. Фианит является также хорошим подзатворным диэлектриком для приборов как на основе Si, так и на основе соединений  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$  (в том числе на основе GaN) благодаря высокому значению диэлектрической постоянной 25—29,7. Его тонкие пленки являются барьером для диффузии примесей и обеспечивают значительное (до 1000 раз и более) снижение токовых утечек в приборах с высокой степенью интеграции [4, 5]. Благодаря высокой химической инертности фианитовые пленки могут быть использованы и в качестве защитных покрытий.

Впервые в качестве подложки для эпитаксии полупроводниковых материалов фианит был успешно опробован для роста слоев кремния [1].

Позднее на фианитовых подложках были получены также эпитаксиальные слои различных соединений  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ , включая нитриды [2, 3].

В последние годы получению пленок фианита на подложках кремния и других полупроводников уделялось большое внимание благодаря их разнообразным электрическим и оптическим приборным приложениям, таким как изолирующие слои в структурах "кремний на изоляторе" (SOI, silicon-on-insulator); подзатворный диэлектрик в приборных структурах на основе Si [4], SiGe [6] и  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$  [7]; буферные слои для получения оптических покрытий [8], пленок различных полупроводников [9], сверхпроводников [10] и ферроэлектриков. Очень остро стоит проблема повышения качества слоев, что связано с целым рядом базовых трудностей, обусловленных особенностями физико-химических свойств рассматриваемых материалов, приводящих к их взаимодействию на стадиях роста или последующих термических обработок.

В настоящее время отмечается резкий всплеск интереса к использованию фианита в качестве подзатворного диэлектрика в технологии CMOS. Связано это с тем, что по мере роста уровня интеграции традиционно используемый  $\text{SiO}_2$  приводит к высоким токам утечки. Это требует замены  $\text{SiO}_2$  на диэлектрики с более высокими значениями диэлектрической постоянной (high-k материалы) [4, 11]. Исследования последних лет сузили круг доступных кандидатов до фианита,  $\text{HfO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  и их силикатов. Так,  $\text{ZrO}_2$  имеет высокое значение диэлектрической постоянной, хорошие диэлектрические свойства (ширина запрещенной зоны 5,8 эВ) и неплохое кристаллохимическое соответствие с Si [12]. Сотрудниками фирмы Intel — одним из лидеров мировой электроники — показано, что замена подзатворного диэлектрика  $\text{SiO}_2$  на  $\text{HfO}_2$  в технологическом процессе с разрешением ~45 нм позволяет уменьшить токи утечки транзистора сразу более чем на два порядка [13], что принципиально для этих приборов. Проведенное в работе [4] сравнение пленок фианита и  $\text{SiO}_2$  электрически эквивалентной толщины порядка 1,46 нм показало, что для пленки фианита ток утечки на 4 порядка величины ниже, чем для традиционного подзатворного окисла  $\text{SiO}_2$ .

С учетом данных рассмотренных выше работ по использованию в микроэлектронике фианита как альтернативы традиционным материалам авторами был проведен анализ перспектив использования фианита также и в фотоэлектронике. Выделено три направления, в которых использование фианита позволит разработчикам фотоприемников получить качественно новые результаты.

### Фианит как подложка для эпитаксиальных слоев InGaAs

В настоящее время лидером среди лазеров для оптико-электронной аппаратуры стали лазеры с длиной волны 1,3—1,54 мкм. Они в большинстве приложений заменили лазеры с длинами волн 0,63; 0,85—0,9; 1,06 мкм. В обнаружителях, дальномергах, системах защиты от активных систем наведения противотанковых управляемых ракет (ПТУР) переход на лазеры с длиной волны 1,3—1,54 мкм связан с их безопасностью для человеческого глаза. В волоконно-оптических линиях связи такой переход обусловлен минимумом коэффициента поглощения в оптическом волокне в названном диапазоне длин волн.

Для регистрации излучения с длиной волны 1,3—1,54 мкм разработаны специальные лазерные фотоприемники на основе германия и гетероструктур InGaAs/InP. Фотоприемники на основе гетероструктур превосходят германиевые по целому комплексу показателей:

- с помощью вариации состава управляют областью собственного поглощения, что обеспечивает идеальное согласование с излучателем по спектру;
- фоточувствительность относительно слабо зависит от температуры;
- на порядки ниже удельные величины темновых токов по сравнению с германиевыми фотодиодами.

Вместе с тем германиевые приборы продолжают активно использоваться как в аппаратуре, разработанной ранее (1970—1980 гг.), так и в новых разработках. В германии можно получить меньшую концентрацию примесей, чем в InGaAs/InP (вплоть до концентрации  $\sim 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ , соответствующую собственной концентрации носителей, тогда как в рассматриваемом тройном материале концентрация примесей  $\sim 0,7\text{—}1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ). Это дает возможность изготавливать германиевые *pin*-структуры и получать фотодиоды с меньшей удельной емкостью. Кроме того, стоимость германиевых приборов ниже, чем приборов на основе InGaAs/InP.

В качестве подложек для создания гетероструктур InGaAs/InP в настоящее время используется сильнолегированный полупроводник — фосфид индия электронного типа (InP<sup>+</sup>). Авторами предусматривается использование фианита в качестве подложки для формирования эпитаксиальных тонких слоев InGaAs. Такое новаторское решение позволяет улучшить электрофизические параметры структур благодаря устранению следующих недостатков подложки InP:

из подложки InP в слой InGaAs в процессе эпитаксии и термических операций изготовления фо-

тодиода неконтролируемо диффундируют различные примеси, прежде всего сера. В результате профиль примесей в рабочем слое изготовленного прибора размывается и значительно отличается от расчетного. Также возникают нежелательные рекомбинационные центры;

гетерограница InGaAs/InP несовершенна, здесь также возникают поверхностные (граничные) центры рекомбинации.

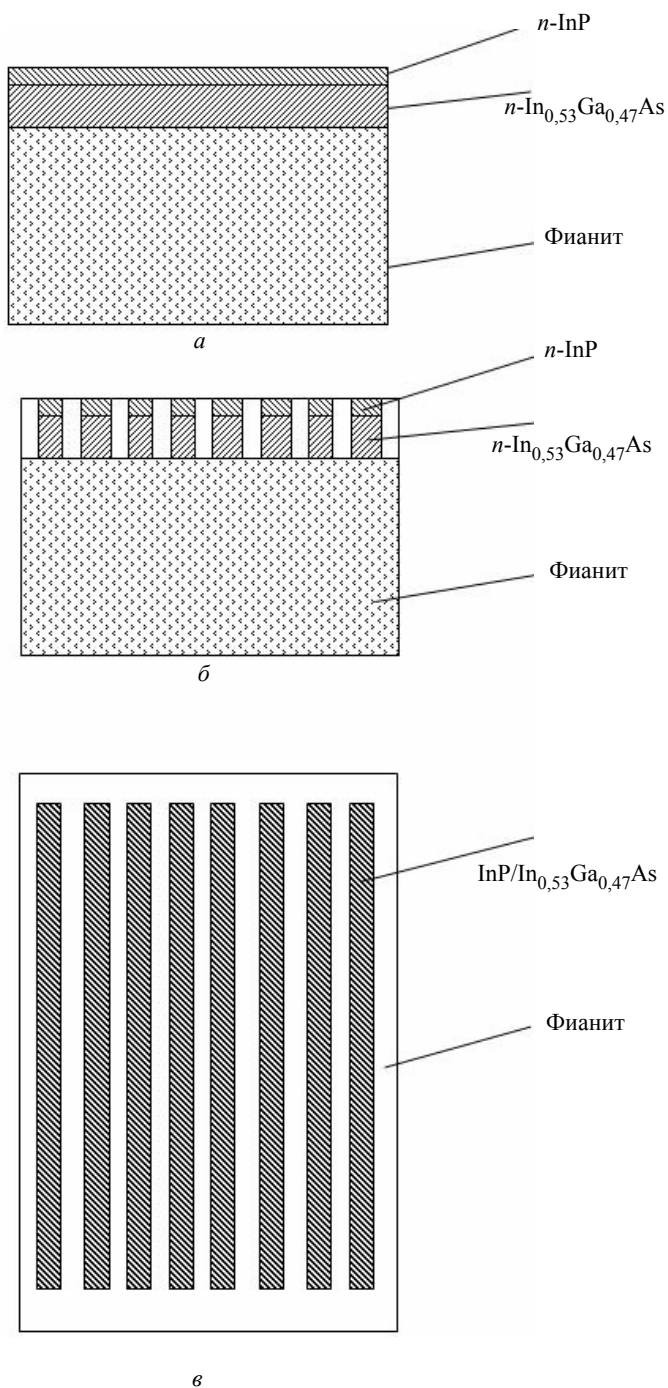
Переход на подложку из фианита устраняет указанные недостатки. Появляется возможность сделать более управляемыми процессы проектирования и изготовления структур. Снижение концентрации рекомбинационных центров приводит к снижению токов термогенерации прибора, следовательно снижаются шумы, повышается время накопления в структурах для систем технического зрения, появляется возможность создания лазерных фотоприемников нового поколения с улучшенными фотоэлектрическими характеристиками.

### Структуры с диэлектрической изоляцией на основе фианита

Важнейшим направлением современной микро- и нанoeлектроники является создание структур с диэлектрической изоляцией, КНИ — "кремний на сапфире" [14]. Как указывалось выше, в общем случае речь идет о технологии "кремний на изоляторе (КНИ)" (Silicon on Insulator, SOI). Технология КНИ основана на использовании трехслойной подложки со структурой кремний—диэлектрик—кремний вместо обычно применяемых монокристаллических кремниевых пластин. В качестве диэлектрика может выступать в общем случае диоксид кремния SiO<sub>2</sub> или указанный выше сапфир (именно в этом случае технология называется "кремний на сапфире", КНС). Дальнейшее производство полупроводниковых приборов с использованием полученной подложки по своей сути практически ничем не отличается от классической технологии, где в качестве подложки применяется монокристаллическая кремниевая пластина. В первую очередь технология КНИ находит применение в цифровых интегральных схемах (в частности в микропроцессорах), большая часть которых в настоящее время выполняется с использованием КМОП (комплементарной логики на МОП-транзисторах). Технология позволяет добиться существенного повышения быстродействия микросхем при одновременном снижении потребляемой мощности и уменьшения габаритных размеров [15].

Авторами предлагается создать аналоги КНИ-структур — формировать узкозонные материалы A<sup>III</sup>B<sup>V</sup> на фианите. На фианите формируем тонкие (микронных размеров) эпитаксиальные слои сис-

темы InGaAs/InP (рисунок). В полупроводниковом эпитаксиальном слое InGaAs/InP создаем необходимые фотоэлементы, а затем зазоры — полупроводниковый эпитаксиальный слой между этими фотоэлементами полностью вытравливается до фианитовой подложки. Фотоэлементы оказываются электрически полностью изолированными.



**Формирование фоточувствительных приборов с использованием изолирующих диэлектрических свойств фианита:**

*a* — исходные структуры: тонкие (микронные) эпитаксиальные слои  $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}/\text{InP}$  на фианитовой подложке; *б, в* — приборные структуры с изолированными фотоэлементами: *б* — сечение; *в* — топология (вид сверху)

### Фианит как защитный и стабилизирующий диэлектрический слой для германия

Защитные и стабилизирующие слои имеют решающее значение для эксплуатационных характеристик и показателей надежности всех полупроводниковых приборов. Кроме того, состояние поверхности, определяемое этими слоями, влияет и на важнейшие тактико-технические параметры полупроводниковых приборов. Особую значимость поверхность (и, соответственно, защитные и стабилизирующие слои) приобретает в технологии фоточувствительных приборов. Во-первых, площадь поверхности таких приборов весьма значительна (вплоть до нескольких сантиметров), так как с большой площади собирается и большой поток излучения. Во-вторых, электронные процессы в фоточувствительных приборах разыгрываются в приповерхностном слое, где поглощается заметная часть фотонов (в "обычных" полупроводниковых приборах активную область электронно-дырочного перехода зачастую можно "спрятать" в объеме). Поэтому самостоятельным направлением стали как разработка технологии защитных и стабилизирующих слоев, так и исследование их свойств (концентрации центров прилипания, рекомбинации поверхностных состояний, поверхностного потенциала, концентрации пор, адгезии металлов, коэффициента преломления и других свойств).

Как известно, основным материалом полупроводниковой электроники является кремний. Этим в большой степени он обязан "подарку природы" — собственной двуокиси кремния ( $\text{SiO}_2$ ), обеспечивающей прекрасные защитные и стабилизирующие свойства [16]. Более узкозонным полупроводникам "повезло" меньше. Типичным представителем здесь является германий. Как указывалось, он используется в фотоэлектронике для регистрации излучения в области 0,4—1,7 мкм. В естественных условиях поверхность полупроводника, в том числе и германия, всегда покрыта слоем собственного оксида, толщина которого может составлять десятки мономолекулярных слоев. Защитные свойства таких слоев невысоки. Собственный окисел на поверхности германия ( $\text{GeO} + \text{GeO}_2$ ) термически нестабилен и склонен к гидролизу, обладает высокой проводимостью. Поэтому для германиевых фотоприемников, как и для кремниевых, традиционно используется окисел  $\text{SiO}_2$ . Однако и он не идеален, так как по отношению к германию не является собственным. Разработчики Ge-приборов сталкиваются с нестабильностью CV- и St-характеристик и, следовательно, с временной нестабильностью фотоэлектрических характеристик. Физические особенности германия (температура

плавления 937 °С) не позволяют использовать высокотемпературный окисел SiO<sub>2</sub>, который обладает лучшими диэлектрическими свойствами и характеризуется минимальной плотностью пор.

Свойства низкотемпературных пленок SiO<sub>2</sub> сильно зависят от способа их нанесения. Наиболее часто используемым методом получения пленки SiO<sub>2</sub> на германии является метод окисления моносилана, так как он позволяет осаждать пленки при низких температурах (150—200 °С). Один из самых неприятных недостатков указанного метода — высокая пористость пленок, что снижает влагостойкость и показатели надежности прибора.

Альтернативным способом низкотемпературного осаждения SiO<sub>2</sub> на германий является плазмохимический метод. Плотность поверхностного заряда для плазменных диоксидов обычно высока ( $\geq 10^{12}$  см<sup>-2</sup>·эВ), что, по-видимому, связано с воздействием ионизирующего излучения в процессе осаждения [17]. Требуется предпринимать дополнительные меры по защите и устранению пористости окисла SiO<sub>2</sub>, нанесенного на германий. При этом необходимо сохранить свойства границы раздела германий—диэлектрик, приемлемые для планарных приборов. Для решения этой задачи в настоящее время используются двухслойные пленки SiO<sub>2</sub>, полученные методом пиролизического разложения моносилана. Первая пленка ответственна за границу раздела, миссия второй пленки SiO<sub>2</sub> — "залечить", устранить (уменьшить) концентрацию пор первого окисла SiO<sub>2</sub>, но и такая технология, к сожалению, не устраняет полностью пористость.

Из указанного очевидна перспективность альтернативного защитного и стабилизирующего фианитового слоя. Проведенный выше анализ литературы свидетельствует о потенциальных возможностях получения фианитовых защитных слоев практически без пор.

### Экспериментальные результаты

- Отработана технология магнетронного нанесения пленок двуокиси циркония. Использована установка Z550 фирмы Leybold Heraeus (ФРГ). Оптимальными оказались скорость нанесения 45 Å/мин (в статическом режиме), падающая мощность магнетрона ~ 400 Вт, рабочее давление аргона в камере 10<sup>-2</sup> мбар, время процесса 30—45 мин.

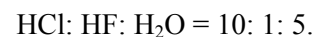
- Проведено нанесение пленки ZrO<sub>2</sub> на различные полупроводники и структуры:

- кремний;
- германий;
- германий с двуокисью кремния.

- Отработана технология нанесения пленок ZrO<sub>2</sub> с толщиной 600—2000 Å. Получены пленки с коэффициентом оптического преломления 2—2,1.

- Проведен поиск технологий плазмохимического и жидкостного химического методов травления. Плазмохимическое травление в газах CF<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub>, фреон-18 показало устойчивость пленок к этим травителям. Необходимо продолжать поиск других газов реагентов (содержащих хлор).

- Высокая химическая стойкость двуокиси циркония (ZrO<sub>2</sub>) определила поиск жидкостных травителей, включающих в свой состав сильные кислоты (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и HF). Цирконий относится к химической подгруппе титана Периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Поэтому было принято решение апробировать для двуокиси циркония (ZrO<sub>2</sub>) травители, аналогичные используемым для двуокиси титана (TiO<sub>2</sub>). Опыт работы с травителями для двуокиси титана TiO<sub>2</sub> у авторов статьи имелся. Небольшое количество плавиковой кислоты (HF), входящей в состав травителя, позволило уверенно стравить пленку ZrO<sub>2</sub> при комнатной температуре. Состав травителя был оптимизирован для использования позитивного фоторезиста в качестве защитной маски при выявлении геометрии рисунка. Окончательный состав травителя для жидкостного травления ZrO<sub>2</sub> со скоростью 0,05—0,1 мкм/мин такой:



- Проведены исследования пленок ZrO<sub>2</sub> на растровом электронном микроскопе. Эти исследования показали отсутствие пор (вплоть до микронных размеров) на образцах площадью 5—6 см<sup>2</sup>.

Для сравнения отметим, что плотность пор в двуокиси кремния, нанесенной на германий, в среднем равна 4—8 см<sup>-2</sup>. Как видим, слой ZrO<sub>2</sub> на Ge по пористости, по крайней мере, на полтора порядка лучше пиролизических слоев SiO<sub>2</sub> на Ge.

- В части использования фианита в качестве изолирующего слоя структур "полупроводник на диэлектрике" отработывалась технология эпитаксиального нанесения слоев InGaAs на фианит. Изготовлены фотошаблоны для изготовления кодовых многоэлементных фотоприемников на структурах InGaAs—фианит. Изоляция фотоэлементов будет достигаться благодаря рассмотренной выше технологии. Кодовые фотоприемники применяются для систем определения координат лазерного излучателя (для задачи противодействия ПТУР, управляемым по лучу; для задачи ориентации самолетов при взлете—посадке). За счет фотоэлектрической изоляции устраняются крайне нежелательная паразитная связь между фотоэлементами и, как следствие, ложные сигналы.

• Изготовлены германиевые многоэлементные кодовые фотодиоды с фианитовым защитным и стабилизирующим слоем. Параллельно по стандартной технологии изготовлена контрольная партия германиевых многоэлементных кодовых фотодиодов с традиционным защитным слоем SiO<sub>2</sub>. Показано качественное улучшение свойств фотодиодов при использовании фианита. В контрольных фотодиодах с защитным слоем SiO<sub>2</sub> при повышении рабочего напряжения возникал импульсный шум, приводящий к ложной тревоге в оптоэлектронной аппаратуре. В фотодиодах с фианитовым защитным слоем при тех же рабочих напряжениях указанного шума удалось избежать.

Подробнее результаты экспериментов приведены в работах [18, 19].

### Заключение

• Поставлено и начато проведение "пионерских" работ по использованию фианита в фотоэлектронике.

• Фианит будет использоваться в трех основных направлениях:

как подложка для эпитаксиальных слоев тройных полупроводниковых систем;

как стабилизирующий и защитный слой;

как изолирующий слой для систем "полупроводник на диэлектрике", прежде всего для систем InGaAs—фианит.

• В результате первых экспериментов магнетронным распылением получены слои химического аналога фианита — двуокиси циркония ZrO<sub>2</sub> на Si, Ge, Ge+ SiO<sub>2</sub>. Толщина слоев лежала в пределах 600—2000 Å, коэффициент оптического поглощения составлял 2—2,1. Исследования на электронном микроскопе показали отсутствие пор (их концентрация, по крайней мере, на полтора порядка меньше, чем в пиролитических слоях SiO<sub>2</sub> на Ge). Изготовлены германиевые фотодиоды с фианитовым защитным и стабилизирующим слоем, что качественно улучшило фотоэлектрические характеристики.

*Непосредственное участие в проведении экспериментов принимали Т. Н. Гришина, Н. Н. Кичина, Л. А. Косухина, Т. Н. Мищенко, А. Е. Трошков, П. Е. Хакуашев, Т. А. Хромова, И. В. Чинарева.*

*Исследования на электронном микроскопе выполнены С. Н. Якуниным.*

### Литература

1. Golecki I., Manasevit H. M., Moudy L. A., Yang J. J., Mee J. E. Heteroepitaxial Si films on yttria-stabilized, cubic zirconia substrates//Appl. Phys. Lett. 1983. V. 42. No. 6. P. 501—503.
2. Buzynin A. N., Osiko V. V., Lomonova E. E., Buzynin Yu. N., Usikov A. S. Epitaxial films of GaAs and GaN on fiанite substrate//Wide-Bandgap semiconductors for High Power, High Frequency and High Temperature. (Mat. Res. Soc. Simp. Proc. 1998). V. 512, Pittsburg, PA. P. 205—210.
3. Бузынин А. Н., Осико В. В., Воронько Ю. К., Лукьянов А. Е., Бузынин Ю. Н., Беляев А. В., Дроздов Ю. Н. Пленки GaN и GaNAs на подложках монокристаллического и пористого Si и GaAs с подслоем фианита//Изв. РАН. Сер. физич. 2005. Т. 69. № 4. С. 211—217.
4. Wang S. J., Ong C. K., Xu S. Y. et al. Electrical properties of crystalline YSZ films on silicon as alternative gate dielectrics//Semicond. Sci. Technol. 2001. V. 16. P. L13—L16.
5. Wang S. J., Ong C. K. Rapid thermal annealing effect on the electrical properties of crystalline YSZ gate dielectrics//Ibid. 2003. V. 18. P. 154—157.
6. Ngai, Qi W. J., Sharma R., Fretwell J., Chen X., Lee J. C., Banerjee S. Electrical properties of ZrO<sub>2</sub> gate dielectric on SiGe, Applied Physics Letters. 2000. No. 76. P. 502—504.
7. Abermann S., Pozzovivo G., Kuzmik J. et al. MOCVD of HfO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub> high-k gate dielectrics for InAlN/AlN/GaN MOS-HEMTs//Semicond. Sci. Technol. 2007. V. 22. P. 1272—1275.
8. Sundaram K. B., Wahid P. F., Sisk P. J.//Thin Solid Films 1992. V. 22. P. 13—18.
9. Hata T., Sasakia K., Ichikawa Y., Sasakia K. Yttria-stabilized zirconia (YSZ) heteroepitaxially grown on Si substrates by reactive sputtering//Vacuum, 2000. V. 59, issues 2—3. P. 381—389.
10. Vargas J. M., Brown P., Khan T. et al. Superconducting half-wave microwave resonator on YSZ buffered Si(100)//Applied Superconductivity. 2001. V. 11. No. 1. P. 392—394.
11. Wallace R. M., Wilk G.//Mater. Res. Bull. 2002. V. 27. P. 192.
12. Robertson J., Vac J.//Sci. Technol. B. 2008. V. 18. P. 1785.
13. Intel News Release, Intel's Transistors Get a "High-k and Metal Gate" Make-Over at 45nm, 2007.
14. Shahidi G. G. SOI technology for the GHz era. IBM. // J. of Research and Development. 2002. V. 46. No. 2/3.
15. Березин А. С., Мочалкина О. Р. Технология и конструирование интеральных микросхем: Учеб. пособие для вузов/Под ред. И. П. Степаненко. — М. Радио и связь, 1993. — 232 с.
16. Курносов А. И., Юдин В. В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных схем: Учебное пособие для студентов вузов. — М.: Высш. шк., 1998.
17. VLSI Electronics Microstructure Science / Edited by N. G. Einspruch, D. M. Brown//Academic Press, Inc. 2004. V. 8.
18. Бузынин А. Н., Гришина Т. Н., Косухина Л. А., Ломонова Е. Е., Сидоров М. С., Тришков М. А., Трошков А. Е., Чинарева И. В. Полупроводниковые фоточувствительные структуры с фианитом как пассивирующим защитным покрытием: Докл. на XX Междунар. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. — М., 2008.
19. Гришина Т. Н., Кичина Н. Н., Косухина Л. А., Сидоров М. С., Тришков М. А., Трошков А. Е., Хакуашев П. Е., Хромова Т. А., Чинарева И. В. Фотоэлектрические свойства германиевых фотодиодов со слоями диоксида циркония, нанесенными магнетронным методом: Там же. — М., 2008.

Статья поступила в редакцию 9 октября 2008 г.

## Perspectives of cubic zirconia using as micro- and photoelectronics material for photodetectors developing

*A. N. Buzinin, E. E. Lomonova*

A. M. Prokhorov Institute of General Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*N. V. Kravchenko, M. S. Sidorov, M. A. Trishenkov, A. M. Filachev, P. E. Hakuashev*  
Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia

*Cubic zirconia is a monocrystal which possessing a unique combination of physico-chemical properties. Lately there were published several researches dedicated to its using in microelectronics. The perspectives of cubic zirconia using in photoelectronics are considered hereinafter. It is shown that this material is especially usable in the technology of photodetectors on Ge, InGaAs base. Main directions of cubic zirconia using are indicated where it is used as the protective and stabilizing layer and as substrate for epitaxial layers InGaAs and also as dielectric in the structure "semiconductor on dielectric" where semiconductor is InGaAs.*

PACS: 85.30.-z

УДК 621.397:621.383.4

## Блок электронной обработки сигналов матричного фотоприемного устройства

*В. Н. Соляков, М. В. Кортиков*

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

*О. В. Катаев, И. В. Петручук, Г. Л. Трунов, П. А. Соломатин, А. В. Бовкун, М. В. Петручук*  
НИИ МВС Южного федерального университета, г. Таганрог, Россия

*Рассмотрен блок электронной обработки сигналов, предназначенный для работы с матричным фотоприемным устройством (МФПУ) формата 256×256 элементов спектрально-го диапазона 3—5 мкм на основе фотодиодов из InSb.*

PACS: 42.79 Sz; 85.30.-Z

### Введение

Применение МФПУ второго поколения инфракрасного (ИК) диапазона спектра в оптико-электронной аппаратуре требует создания специализированных блоков электронной обработки сигналов (БЭО). Это обусловлено низким контрастом изображения в ИК-диапазоне спектра, неоднородностью чувствительности отдельных элементов матрицы, наличием дефектов. От параметров и организации БЭО в значительной степени зависят предельная чувствительность системы и другие тактико-технические характеристики. В целом ряде применений требуются повышенная частота кадров и наличие цифрового выхода.

Блок электронной обработки сигналов МФПУ, представленный в настоящей работе, осуществляет формирование сигналов управления МФПУ,

преобразование аналоговых сигналов от фоточувствительных элементов МФПУ формата 256×256 в цифровую форму, цифровую обработку сигналов. Обработка включает коррекцию неоднородности сигналов, деселекцию дефектных элементов и суммирование кадров для повышения отношения сигнал/шум, формирование цифрового видеосигнала и стандартного телевизионного видеосигнала для отображения его на экране видеомонитора.

### Алгоритм работы блока и его состав

Алгоритм работы БЭО МФПУ неразрывно связан с организацией МФПУ, позволяющей выводить сигналы массива 256×256 фоточувствительных элементов по восьми выводам. Ввод одного кадра при этом (с учетом служебных тактов) занимает