

ФОТОПРИЕМНИКИ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВАРИЗОННЫХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ HgCdTe

Ш.О. ЭМИНОВ

Институт Физики НАН Азербайджана

e-mail shikhamirem@gmail.com

Представлено описание конструкции, принцип действия и методы изготовления фотоприемников (ФП) ИК излучения на основе варизонных жидкофазных эпитаксиальных структур (ЖФЭ ЭС) HgCdTe. Архитектура конструкций, принципы действия этих устройств, а также преимущества над аналогами основаны на использовании варизонного профиля распределения состава эпитаксиальных слоев HgCdTe по их толщине, эффекта квази-электрического поля, формирующегося в таких структурах, на близости параметров решеток подложки и ЭС, а также на изоляционных свойствах подложки CdZnTe.

Ключевые слова: ИК-фотоприемники, эпитаксия, HgCdTe

PACS: 07.57, 85.60.Dw, 85.30

Разработка эффективных ИК фотоприемников (ФП), для широкого ряда практических применений является одной из актуальных задач современной фотоэлектроники. Уникальные электрические и фотоэлектрические свойства HgCdTe [1-3] обуславливают его широкое применение в качестве фоточувствительного материала фотодиодов и фоторезисторов в детекторах излучения среднего и дальнего ИК-диапазона. Основными современными эпитаксиальными технологиями являются жидкофазная эпитаксия (ЖФЭ) и различные варианты паровой эпитаксии (МЛЭ, ГФЭ и пр.). ЖФЭ выгодно отличается от других методов низкой себестоимостью продукции, высокой производительностью, высокой чистотой эпитаксиальных слоев и пр. Разработки, по дальнейшему усовершенствованию ЖФЭ, имеют большое практическое значение для создания новых типов высокоэффективных ИК-фотоприемников. Нами была разработана методика жидкофазной эпитаксии внутри кварцевой ампулы слоев $Hg_xCd_{1-x}Te$ ($x=0.2-0.30$) на подложках CdZnTe со ступенчатым профилем а также в узких канавках, созданных в ее приповерхностном слое из раствора расплава раствора с исходным составом $(Hg_{0.946}Cd_{0.054})_{0.194}Te_{0.806}$. Из совместных исследований спектральных зависимостей оптического пропускания и фотопроводимости, измеренных спектральном диапазоне 3-5 и 8-14 мкм при разных температурах в диапазоне было установлено, что распределение состава слоев по толщине имеет четко выраженную варизонную структуру (рис.1) : мольная доля Cd на поверхности ЭС составляет $0,16 \pm 0,15$, ($E_g \sim 0,06eV$), а по мере приближения к границе раздела с подложкой непрерывно растет вплоть до 1. Это обусловлено процессом твердотельного замещения Cd атомами Hg на границе раздела подложка CdZnTe-эпитаксиальный слой HgCdTe в процессе эпитаксиального роста. Пространственное распределение состава вызывает два взаимосвязанных эффекта: распределение ширины запрещенной зоны по толщине эпитаксиального слоя (варизонность) σ и вызванного им эффекта формирования квазиэлектрического поля внутри варизонной структуры. На рис. 2 показана зонная диаграмма структуры подложка CdZnTe-ЭС HgCdTe,

в которой запрещенная зона вдоль вдоль толщины эпитаксиального слоя z меняется с некоторым законом $E_g(z)$. Градиенты ширины запрещенной зоны вызывают формирование квазиэлектрическое поля, направленного от широкозонной части структуры к узкозонной. Поэтому неравновесные дырки, генерированные излучением в объеме эпитаксиального слоя, будут отталкиваться от границы раздела с подложкой, способствуя ослаблению рекомбинационной активности на поверхности.

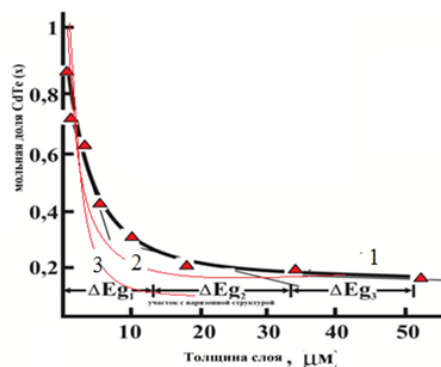


Рис.1. Распределение кадмия (x) по толщине эпитаксиального слоя при разных временах проведения эпитаксии и взаимодиффузии Hg и Te. 1-экспериментальные данные.

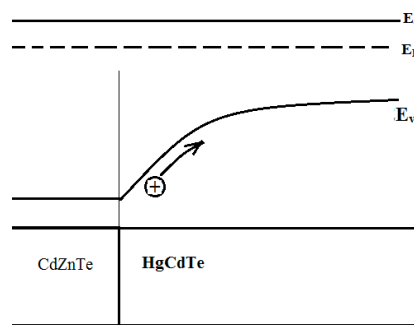


Рис.2. Зонная диаграмма варизонной структуры подложка CdZnTe- эпитаксиальный слой HgCdTe

Для практического применения описанных выше двух взаимосвязанных эффектов нами были разработаны конструкции и методики изготовления двух новых типов матричных фотоприемников: ПЗИ фотоприемник и трехканальный ИК- фотоприемник.

Изготовление первого из этих приборов предусматривает формирование серии узких канавок прямоугольной формы в приповерхностном слое подложки CdZnTe и выращивание варизонных эпитаксиальных полосок HgCdTe внутри них. После этого поверх этих полосок создаются фоточувствительные МДП ячейки в количестве, равном числу элементов матрицы. Основанием для выбора такой конфигурации послужили следующие соображения: - в процессе роста слои в таких канавках произрастают от начиная от всех трех границ раздела с подложкой. Поэтому и по ширине слоя также воздействует квазиэлектрическое поле, которое отталкивает ННЗ от граней полоски и способствует снижению рекомбинационной активности широкозонной поверхности и росту рекомбинации на узкозонной поверхности и уменьшению влияния и боковых поверхностей, также являющихся источником поверхностной рекомбинации; -из-за малого коэффициента краевого поглощения и большой подвижности электронов в HgCdTe и в InSb обычно наблюдается сильное размытие "пакета" фотоносителей по отношению к первичному потоку фотонов, поступающих на чувствительную площадку. Это негативно влияет на параметры фотодиодов. Однако квазиэлектрическое поле в структуре предотвращает размытие пакета по толще кристалла и направляет о к поверхности, на которую нанесены контакты. - к.т.р. подложки $Cd_{0.96}Zn_{0.04}Te$ ($5.8 \times 10^{-6}K^{-1}$) и эпитаксиальных слоев Hg CdTe ($5.6-5.85 \times 10^{-6}K^{-1}$) можно считать близкими по величине. Потому механические напряжения, на границе раздела которым при термоциклировании подвергаются структуры, выращенные в канавках подложки, минимальны. Это выгодно отличает наше устройство от матриц, в которых считывающие устройства склеиваются с фоточувствительной областью; -эпитаксиальные слои внутри канавок изолированы друг от друга перегородками высокоомного изолирующего CdZnTe. Поэтому при его изготовлении также исключается необходимость в операциях по созданию межслойной изоляции и многослойной коммутационной металлизации; За счет формирования межсоединений элементов матрицы подложки на периферийной части контактной системы исключается необходимость в использовании специального контактного раstra. Это, в свою очередь, исключает необходимость в применении т.н. технологии "контактов со спуском" для обеспечения межсоединений от всех элементов матрицы с контактными дорожками контактного раstra.

Для изготовления трехцветного матричного ИК фотоприемника на поверхности подложки CdZnTe были изготовлены террасы -ступенки заданной ширины со специально подобранными шагами (высотами) и на них выращивались фоточувствительные ЭС. Слои, выращенные в едином

эпитаксиальном процессе в разных по глубине канавках, будут выступать над плоскостью подложки на разные высоты. Составы этих слоев при их вскрытии единой плоскостью сечения, параллельной плоскости поверхности подложки, будут соответствовать заданным полосам спектра. Поэтому при выравнивании их поверхностей путем полирования можно получить структуры CdZnTe- $Cd_xHg_{1-x}Te$ с дискретным изменением ширины запрещенной зоны вдоль поверхности эпитаксиального слоя и фоточувствительностью, охватывающей разные заданные диапазоны спектра состава на единой плоскости. ФП, изготовленный нами, состоит из широкозонного CdZnTe (1) и варизонного ЭС $Cd_xHg_{1-x}Te$ с общей компланарной верхней плоской поверхностью для всех спектральных полос ИК-сигнала (2). Для разграничения каналов цветности фотопреобразователя участки слоя эпитаксиального слоя с разными составами (2) разделены узкими канавками (3), заполненными диэлектриком. Поверхность эпитаксиального слоя, за исключением области считывающих электродов (4), закрыта слоем прозрачного окисла (5), на который нанесены затворные (6) и накопительные электроды 7.

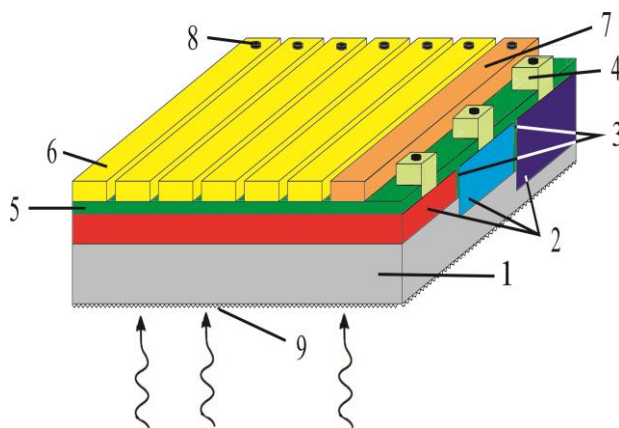


Рис.3. Матричный ПЗИ фотоприемник

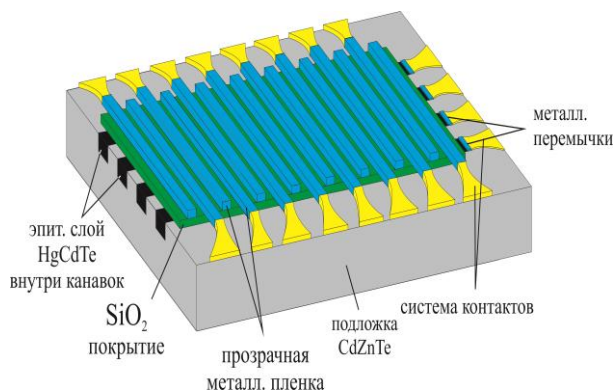


Рис.4. Трехканальный ПЗС ИК-ФП

ФОТОПРИЕМНИКИ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВАРИЗОННЫХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ HgCdTe

Для монтажа структуры со схемой управления и обработки сигналов изображения на всех электродах установлены контакты (8). На обратную сторону подложки нанесен антиотражательный слой (9). Такое устройство действует в соответствии с принципом действия ПЗС.

-
- [1] *В.И. Стафеев* Теллурид кадмия-ртути. Фотоприемники инфракрасного диапазона. М.: Изд. ФГУП «Орион», 2011, 203 с.
- [2] *Chu Downs, T.E. Vandervelde* // Progress in Infrared Photodetectors since 2000 // Sensors (Basel), 2013, v.13, No 4, p.p.5054–5098
- [3] *Ш.О. Эминов, Э.К. Гусейнов, А.А. Алиев* и др. Матричный твердотельный преобразователь изображения // Патент Азербайджанской Республики No. 20000216, Вак1, 2000
- [4] *A.A. Aliyev, A.K. Mamedov, I.A. Nasibov, Sh.O. Eminov, E.K. Huseynov, V.M. Salmanov* Multi-channel infrared imager // SPIE Proc, 2000, v.4340, p.128-132
- [5] *Ш.О. Эминов, А.А. Алиев, Т.И. Ибрагимов* и др. ИК-фотоприемник на основе HgCdTe с варизонными эпитаксиальными слоями, выращенными в приповерхностном слое CdZnTe подложки // АМЕА Хəбərləri , 2017, т. XXXVI №2, с.56-73