

06.2; 06.3

© 1990

ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ $AlGaAs-GaAs$ ГЕТЕРОСТРУКТУР ДЛЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

В.М. Андреев, В.С. Капиновский,
В.Р. Ларионов, М.М. Мипанова,
К.Я. Расулов, В.Д. Румянцев,
В.П. Хвостиков

Полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи весьма удобны для использования в качестве регистраторов люминесценции кристаллов-сцинтилляторов в детекторах ионизирующих излучений. В настоящее время для этой цели, как правило, используются фотодиоды на основе кремния. Применение фотопреобразователей на основе гетероструктур в системе алюминий-галлий-мышьяк ($AlGaAs$ -ГФП) позволяет улучшить характеристики детекторов. Это связано, во-первых, с возможностью оптимального согласования спектра люминесценции каждого типа сцинтиллятора со спектром fotocувствительности ГФП за счет варьирования значений ширины запрещенной зоны широкозонного „окна” и фотоактивной области, содержащей р-п-переход. Большие значения E_g материала р-п-перехода в $AlGaAs$ - ГФП позволяют уменьшить темновые токи при комнатной и более высоких температурах, т.е. обеспечить лучшую пороговую чувствительность и термостабильность детектора. Во-вторых, потенциально более высокая радиационная стойкость $AlGaAs$ - ГФП по сравнению с кремниевыми фотодиодами позволяет надеяться на более продолжительный срок службы детекторов ионизирующих излучений на их основе.

В настоящей работе приводятся результаты исследований спектров fotocувствительности, значений темнового тока и радиационной стойкости $AlGaAs$ - ГФП, предназначенных для работы с различными кристаллами-сцинтилляторами.

Структуры ГФП включали в себя подложку n^+GaAs , фотоактивные слои $nAl_xGa_{1-x}As$ и $pAl_yGa_{1-y}As$ ($xy = 0-0.3$; толщина 0.5-2 мкм), образующие р-п-переход, и широкозонное „окно” $pAl_{0.8}Ga_{0.2}As$ (0.01-0.15 мкм). На ряде образцов выращивался также контактный слой p^+GaAs (~0.03 мкм). Получение ультратонких (до 0.01 мкм) слоев обеспечивалось благодаря выращиванию структур методом низкотемпературной жидкофазной эпитаксии [1, 2] при температурах кристаллизации 400-500 °С. Образцы ГФП имели просветляющее покрытие, выполненное путем анодного окисления фронтальных слоев p^+GaAs и $pAl_{0.8}Ga_{0.2}As$. Приводимые ниже результаты получены на трех образцах ГФП пло-

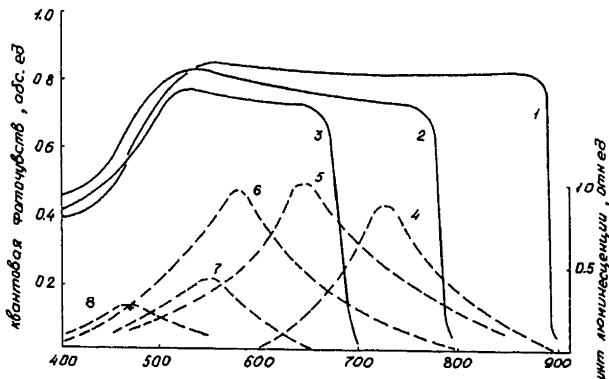


Рис. 1. 1-3 (левая ось) - спектры квантовой фоточувствительности образцов ГФП 1 - ГФП 3; 4-8 (правая ось) - спектры люминесценции кристаллов-сцинтилляторов: 4 - CdS , 5 - $ZnSe$, 6 - CsI , 7 - $CdWO_4$, 8 - $Bi_4Ge_3O_{12}$.

щадью 1 см^2 , имеющих значения E_g материала р-п-перехода 1.4, 1.6 и 1.8 эВ (образцы ГФП 1, ГФП 2 и ГФП 3 соответственно). Емкость исследованных образцов при нулевом смещении составляла $1-5 \text{ нФ} \cdot \text{см}^{-2}$.

На рис. 1 кривыми 1-3 представлены спектры квантовой фоточувствительности образцов ГФП в абсолютных единицах. Здесь же кривыми 4-8 изображены спектры люминесценции различных кристаллов-сцинтилляторов (правая ось). Наиболее длинноволновое положение края фоточувствительности имеет образец ГФП 1 с фотоактивной областью, выполненной из $GaAs$. Его спектр перекрывает все приведенные спектры люминесценции сцинтилляторов. Ультратонкое широкозонное "окно" обеспечивает высокую фоточувствительность в фиолетовой области спектра. Однако для регистрации люминесценции, например, кристаллов $CdWO_4$ или $Bi_4Ge_3O_{12}$ (кривые 7 и 8) более подходящим является ГФП со значительным содержанием $AlAs$ в фотоактивной области (образец ГФП 3, кривая 3). Здесь обеспечивается снижение значений темнового тока р-п-перехода, выполненного в более широкозонном материале.

Последнее обстоятельство иллюстрирует рис. 2, где в левой его части кривыми 1-3 представлены обратные ветви темновых вольт-амперных характеристик образцов ГФП 1 - ГФП 3, снятые при комнатной температуре в держателе с прижимными контактами. Для проведения температурных измерений ВАХ образцы напаивались на ситалловый держатель. К сожалению, напайка образцов сопровождалась, как правило, увеличением примерно на порядок темновых токов (ср. кривые 3 и 3' на рис. 2 для образца ГФП 3, имеющего р-п-переход в наиболее широкозонном материале с $E_g = 1.8 \text{ эВ}$). Пороговая чувствительность фотодиода, помимо квантовой фоточувствительности, величина которой близка к максимально возможной для

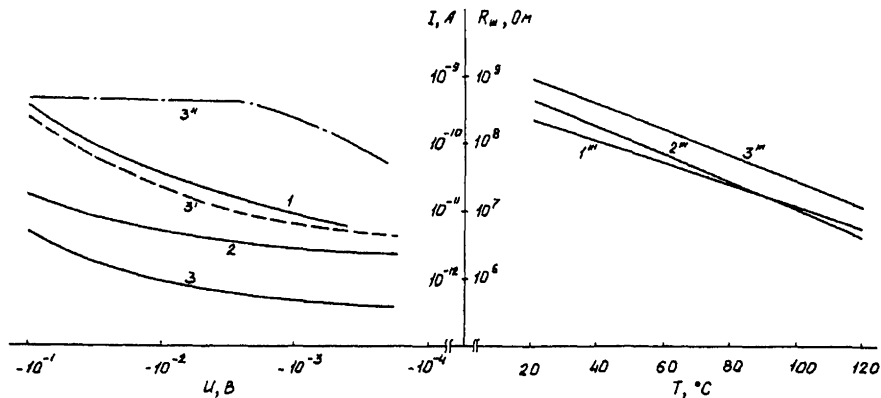


Рис. 2. Левая часть: 1–3 – обратные ветви темновых ВАХ образцов ГФП: 1 – ГФП 3 ($T \approx 24^\circ C$); 3' – то же для образца ГФП 3 после напайки $T = 32^\circ C$; 3'' – значения R_{sh} для образца ГФП 3, полученные из кривой 3'. Правая часть: 1''' – 3''' – температурные зависимости величины R_{sh} для напаянных образцов ГФП 1 – ГФП 3.

исследуемых ГФП (рис. 1), характеризуется еще и величиной эффективного шунтирующего сопротивления (R_{sh}). Значения R_{sh} , полученные из кривой 3' для напаянного образца ГФП 3, приведены в левой части рис. 2 кривой 3''. При малых напряжениях обратного смещения расчетные значения R_{sh} уменьшаются, что связано с погрешностями измерения очень малых абсолютных значений темнового тока. Обычно для охарактеризования фотодиода приводят значение R_{sh} при величине обратного смещения 10^{-2} В [3]. Температурные зависимости именно этих значений R_{sh} представлены линиями 1''' – 3''' в правой части рис. 2 для напаянных образцов ГФП 1 – ГФП 3. Видно, что имеется тенденция к сохранению высоких значений R_{sh} при увеличении температуры в образцах с наиболее широкозонным материалом р-п-перехода. Наиболее существенно то, что в полученных ГФП величина R_{sh} , например, при $T = 80^\circ C$, по крайней мере на два порядка выше, чем в кремниевых фотодиодах сравнимой площади [3].

Были проведены также исследования радиационной стойкости разработанных ГФП. Облучение фоточувствительной поверхности образцов производилось протонами с энергией 6.7 МэВ. Наилучшей радиационной стойкостью обладали образцы с наименьшими толщинами фотоактивного слоя р-типа (0.5 мкм $pGaAs$ или $pAl_yGa_{1-y}As$) и слоя широкозонного „окна“ (0.01 мкм $pAl_{0.3}Ga_{0.2}As$). В таких ГФП при дозе облучения $3 \cdot 10^{12}$ см $^{-2}$ имело место лишь незначительное (на 15%) снижение величины фототока.

Таким образом, возможность варьирования спектральных характеристик, высокие значения эффективного шунтирующего сопротивления при их термостабильности, а также радиационная стойкость

разработанных *AlGaAs*-ГФП делают их перспективными для применения в сцинтилляционных детекторах ионизирующих излучений при повышенных рабочих температурах и больших дозах облучения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Воднев А.А., Конников С.Г., Ларионов В.Р., Погребницкий К.Ю., Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 13. С. 1089-1093.
- [2] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Воднев А.А., Ларионов В.Р., Никитин А.В., Прудких Т.А., Румянцев В.Д. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 1. С. 76-79.
- [3] Photodiodes. Проспект фирмы "Hamamatsu Photonics К.К." 1986. С. 19.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
12 июня 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 19

12 октября 1990 г.

06.2

© 1990

К ВОПРОСУ О СОСТАВЕ И СТЕХИОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ *GaAs*, ПОЛУЧАЕМОМ В ПРОЦЕССЕ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ ПРИ ИЗОВАЛЕНТНОМ ЛЕГИРОВАНИИ

А.А. Аристархова, Ю.Ф. Бирюлин,
С.С. Волков, С.В. Новиков,
М.Ю. Тимашев

Изовалентное легирование соединений A^3B^5 в жидкофазной эпитаксии получило в последнее время широкое распространение как метод целенаправленного изменения электрофизических параметров кристаллизуемых слоев [1-3]. В ряде приборных применений эпитаксиальных слоев важную роль играет распределение компонентов в легирующих примесей у поверхности и на гетерогранице, что обусловило, в частности, активное исследование свойств поверхности изовалентно легированного *GaAs* [4-6]. Отличие элементного состава поверхности от объема, например, арсенида галлия, легированного висмутом, объясняется двумя причинами: во-первых, возникно-