

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ ОТДЕЛЯЕМЫХ ПЛЕНОК AlAs-GaAs

В.С. Антощенко, Ш.Б. Байганатова, Т.И. Таурбаев, Ю.В. Францев
НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы

Методом жидкофазной эпитаксии с использованием лишь одного раствора-расплава сформирован тонкопленочный фотопреобразователь со структурой Au/n - GaAs/n⁺ - GaAs/n - AlGaAs.

Полученные результаты показывают перспективность применения отделяемой технологии для создания приборов микро- и оптоэлектроники.

Использование свободно расположенных монокристаллических пленок в полупроводниковой технологии позволяет создавать более дешевые полупроводниковые приборы с улучшенными электрофизическими характеристиками для микро- и оптоэлектроники. Одним из методов формирования тонкопленочных приборных структур на основе арсенида галлия является метод отделяемого роста из раствора-расплава, позволяющий формировать совершенные монокристаллические пленки большой площади толщиной 2-20 мкм [1, 2]. В данной работе представлены варианты использования тонкопленочных структур, полученных методом отделяемого роста для изготовления СЭ и СВЧ диода.

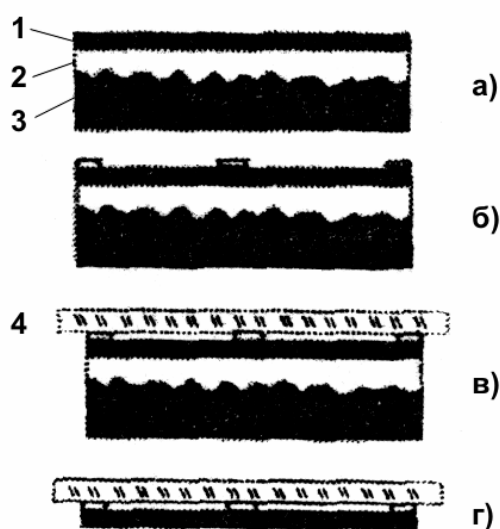
Исходный тонкопленочный материал как для СЭ так и для СВЧ диода синтезировали методом отделяемого роста в процессе жидкофазной эпитаксии из расплава состава Sn+Ga (10-15 ат.%) + Al (0,1-0,2 ат.%) принудительным охлаждением со скоростью 6 К/мин в температурном интервале от 850-1000 до 300 К. Подложками служили диски из полужолирующего арсенида галлия диаметром 23-25 мм, толщиной 1,35 мм с ориентацией рабочей поверхности по плоскостям (100) и (111)А.

Сразу после приведения затравочной подложки в контакт с расплавом происходила кристаллизация отделенной от этой подложки пленки широкозонного твердого раствора AlGaAs, состав которой в процессе последующего охлаждения изменялся до GaAs. Толщины слоев AlGaAs и GaAs, а также распределение концентрации носителей тока в слоях зависели от начальной температуры выращивания и состава жидкой фазы. Площадь полученных структур достигала 4 см².

Изучение распределения концентрации электронов и состава твердого раствора по толщине структур, выращенных из раствора-расплава Sn + Ga(10 ат.%) + Al(0,18 ат.%) в температурном интервале от 950 до 300 К, показали, что для них характерно резкое изменение состава прямозонного твердого раствора, происходящее на толщине около 0,1 мкм, связанное с аномально высоким значением коэффициента распределения Al в используемой системе, а также резкое изменение концентрации доноров (более чем на два порядка) в поверхностном слое структуры, обусловленное температурной зависимостью коэффициента распределения олова в арсениде галлия.

Качество полученного материала проверяли методами рентгеновской дифракции и фотолюминесценции. Сравнение спектров фотолюминесценции, снятых при комнатной температуре с отделенной пленки и эпитаксиального слоя GaAs, выращенного традиционным методом непосредственно на подложке, легированных оловом до одинаковой концентрации, показало, что в два раза более высокая интенсивность люминесценции отделенной пленки свидетельствует о ее кристаллическом совершенстве.

Для формирования структуры СЭ на поверхность выращенных пленок на поверхность выращенных пленок методом химического осаждения наносили слой Au толщиной 10 нм и формировали фронтальный сетчатый контакт с размером ячеек $1 \times 1 \text{ мкм}^2$ и шириной контактных полос, равной 0,05 мм. Основные этапы изготовления СЭ с барьером Шоттки отображены на рис. 1, где а - выращивание исходной эпитаксиальной структуры; б - формирование Au-барьера и фронтального контакта; в - присоединение структуры к стеклянной подложке с совмещенным контактом; г - удаление затравочной подложки и формирование тыльного контакта. Все операции, включая отделение структуры от затравочной подложки, проводили при комнатной температуре. На рис. 2 приведена зонная диаграмма структуры с барьером Шоттки, имеющая встроенное электрическое поле $E(x) = -(kT/q)d \ln(Nd(x)/dx)$ у освещаемой поверхности, которое позволяет существенно снизить туннельные токи утечки и отражающий барьер, образованный скачком химического состава у ее тыльной стороны.



1 – пленочная структура, 2 – расплав, 3- подложка GaAs : 4 – вторичная подложка
Рисунок 1 – Этапы изготовления тонкопленочного СЭ

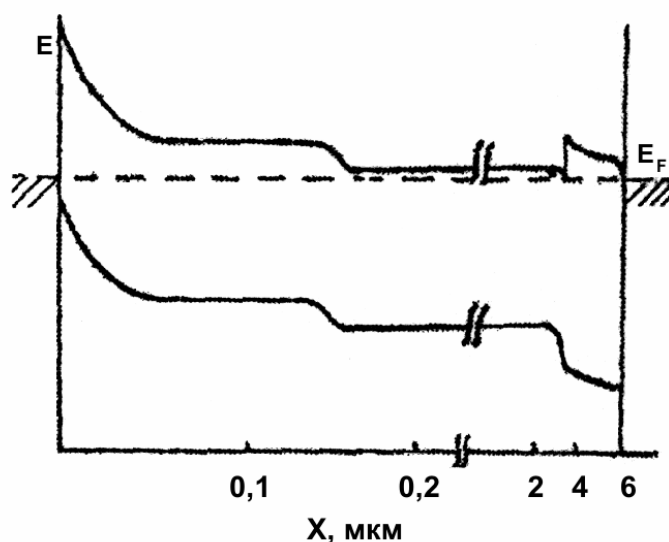


Рисунок 2 – Зонная диаграмма тонкопленочного СЭ с барьером Шоттки

При изменении фотоэлектрических характеристик структуры $\text{Au/n} - \text{GaAs/n}^+ - \text{GaAs/n} - \text{AlGaAs}$ (рис. 3, 4) получены высокие значения ЭДС холостого хода, достигающие на отдельных образцах 0,75 В. КПД структур с неоптимизированным просветляющим покрытием из Si_3N_4 составил 10,2 % при освещении вольфрамовой лампой с $P=100 \text{ мВт/см}^2$.

Созданный тонкопленочный СЭ отличается высокими удельными весовыми характеристиками. Так, при использовании в качестве вторичной подложки кварцевой пластины толщиной 100 мкм и GaAs-структуры толщиной 10 мкм удельная весовая мощность возрастает в 7 раз по сравнению с СЭ из GaAs толщиной 400 мкм при той же эффективности преобразования.

При многократном использовании одной и той же монокристаллической затравочной подложки СЭ будет иметь низкую стоимость. Простейшим вариантом, реализующим это условие и вписывающимся в существующую технологию, является удаление нарушенного слоя подложки путем механической и химической полировки. Эксперименты показали, что снижение толщины подложки на один цикл выращивания составляет примерно 30 мкм.

Подложка толщиной 1,35 мм может быть использована (до конечной толщины 200 мкм) для выращивания около 40 тонкопленочных структур.

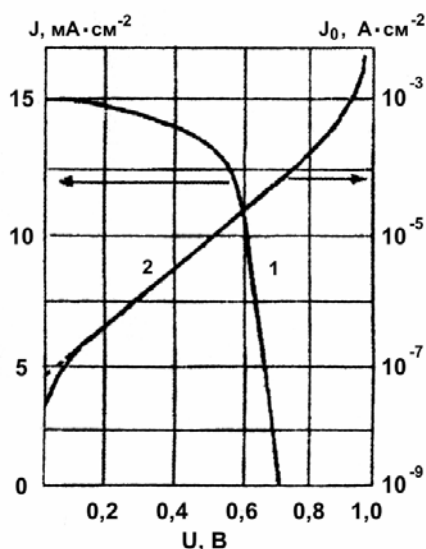


Рисунок 3 – Световая (1) и темновая (2) вольт-амперные характеристики ТП СЭ

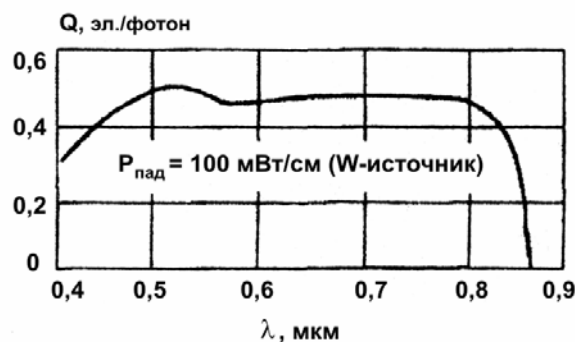


Рисунок 4 – Спектр фоточувствительности ТП ФП

Выращенные по этой технологии тонкопленочные структуры могут быть использованы в качестве базовых при изготовлении дешевых и эффективных солнечных элементов.

Для изготовления СВЧ барьерных структур, выращенная пленка толщиной ~6 мкм снималась с подложки после нагрева до температуры плавления промежуточного металлического слоя Sn путем сдвига в специальном устройстве. Остатки металл-растворителя удаляли травлением в концентрированной соляной кислоте. После этого на лицевой стороне пленки формировали омический контакт термическим испарением в вакууме сплава Au-Ge (90 : 10) толщиной 0,1 мкм и вакуумным отжигом при 450 °С в течение 10 минут. Барьер Me/GaAs создавали термическим вакуумным испарением алюминия толщиной 0,1 мкм через маску с диаметром ячеек 150 мкм. На изготовленных таким образом приборах измерялись зависимости выпрямленного тока и напряжения от частоты и мощности сигнала. Измерения проводились на высокочастотном генераторе сигналов Г4-124. Для этого к выходу генератора присоединялась полосковая линия длиной 4см. и Диод, размещенный в держателе, устанавливался вблизи линии и ориентировался на максимум выходного сигнала. Т.о. передача энергии осуществлялась посредством емкостной связи.

На рисунке 5 приведены зависимости выходного тока планарного диода Шоттки с диаметром мезы 150мкм в зависимости от выходной мощности генератора, выраженной в процентах от максимальной для разных частот сигнала.

Зависимость выходного тока от относительной мощности для планарного диода Шоттки при различных частотах (рисунок 5) имеет линейный характер для частот 4,3 ГГц и 4,73 ГГц. В то же время слабо экспоненциальный рост с мощностью сигнала наблюдается при более высоких частотах – 5,05 ГГц и 5,22 ГГц. С ростом частоты выходной уровень детектируемого сигнала быстро падает, а уровень выходного сигнала очень мал, что связано с большой емкостью диода находящейся в пределах 15- 20 пикофарад. Таким образом, для работы на частотах более 1 гигагерца необходимо уменьшать площадь контакта, что может быть достигнуто применением техники фотолитографии.

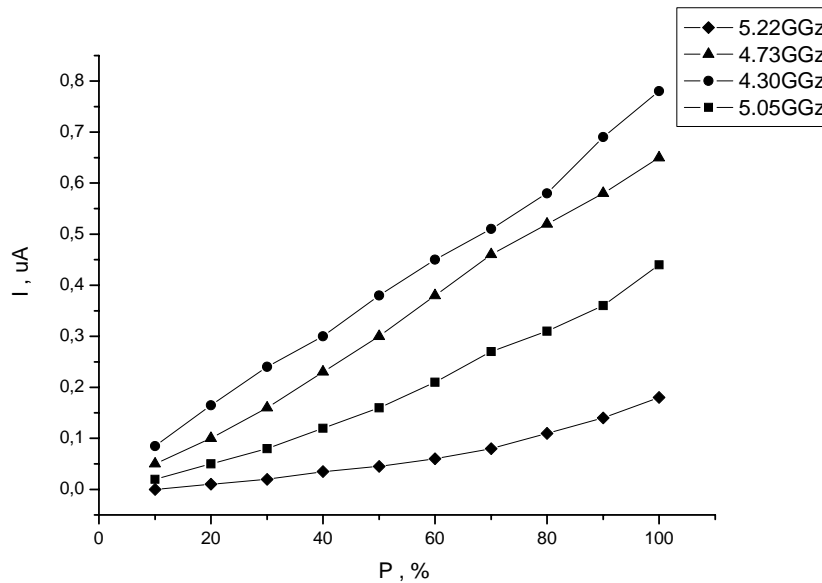


Рисунок 5 - Зависимости выходного тока планарного диода Шоттки от мощности сигнала для различных частот

Для лучшего понимания природы барьеров и полученных экспериментальных данных были исследованы вольтфарадные характеристики планарного, точечно-контактного и смесительного (3A117A) диодов. Зависимости емкости от напряжения снимались на цифровом измерителе L,C,R – E7-12 в диапазоне напряжения смещения р-п-перехода от -1 до +1В. На рисунке 6, а, б приведены соответственно зависимости $1/C^2$ от приложенного к переходу напряжения для планарной структуры, точечно-контактного диода и смесительного диода 3A117A.

Как можно видеть из рисунка 6 зависимости емкости от напряжения имеют сходный характер. В первом приближении они могут быть представлены двумя прямыми с разным углом наклона. Точка перегиба в обоих случаях находится при напряжении +0,4 В.

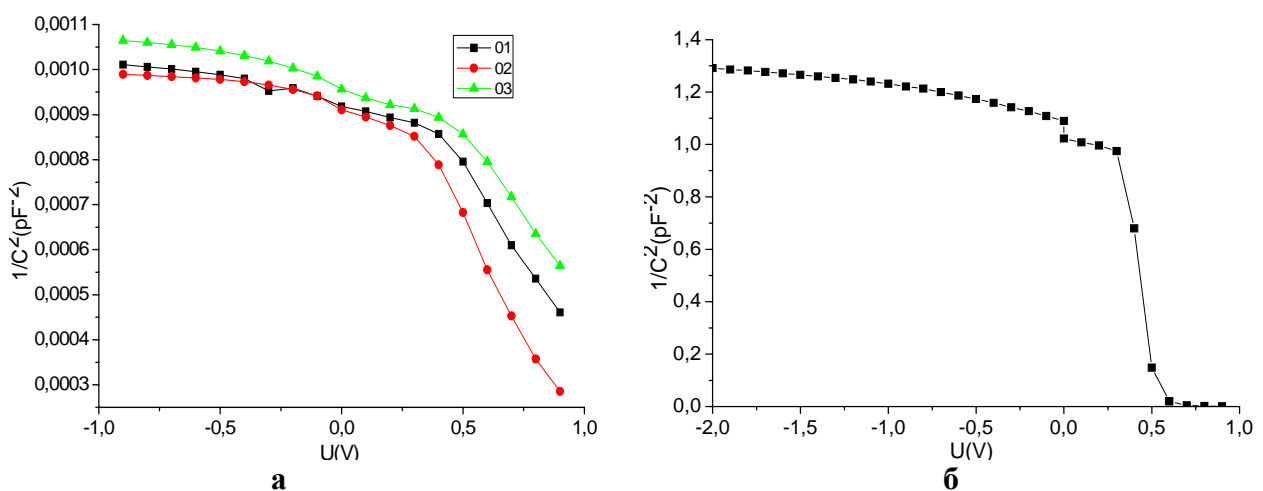


Рисунок 6 - Зависимости $1/C^2$ от приложенного к переходу напряжения для планарной структуры на различных участках пленки GaAs (а) смесительного диода 3A117A (б)

Различие между кривыми на рисунке 6, а можно объяснить некоторой поверхностной неоднородностью тонкопленочного образца по составу, хотя такой разброс может быть связан и с различным усилием прижима зонда к алюминиевой площадке, которое не контролировалось. Ступенька при 0 В на рисунке 6,б связана с изменением геометрии измерительной схемы при смене полярности напряжения смещения.

Полученные результаты показывают перспективность применения отделяемой технологии для создания приборов микро- и оптоэлектроники.

Литература

1. Антощенко В.С., Таурбаев Т.И., Байганатова Ш.Б. Изучение формирования свободно расположенных пленок арсенида галлия в условиях раствор-расплавной кристаллизации // Вестник КазНУ, сер.Физическая.- №1(19), 2005.- С.70-75.

2. Антощенко В.С., Таурбаев Т.И. Аномальный рост монокристаллических пленок при жидкостной эпитаксии // Электронная техника. Сер.6, Материалы, Вып.2(201), 1985.- С.54-58.

AlAs-GaAs БӨЛІНІП АЛЫНАТЫН ҚАБЫҚШАЛАРДЫҢ НЕГІЗІНДЕ ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТІК ҚҰРАЛДАРДЫ ЖАСАУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЗЕРТТЕУ

В.С. Антощенко, Ш.Б. Байганатова, Т.И. Тауырбаев, Ю.В. Францев

Бір ерітінді-балқыманы пайдалану арқылы сұйық-фазалы эпитаксия процесі арқылы бөліну әдісімен құрылған Au/n - GaAs/n⁺ - GaAs/n - AlGaAs құрылымды жұқа қабықшалы арзан фототүрлендіруші жасалған.

Алынған нәтижелер бөлініп алынатын технологиясының микро- және оптоэлектрониканың құралдарың жасауға қолданудың перспективті екенін көрсетеді.

CREATION AND INVESTIGATION OF PARAMETERS OF SEMICONDUCTOR DEVICES ON THE BASED AlAs-GaAs - FILMS

V.S. Antoschenko, Sh.B. Baiganatova, T.I. Taurbayev, Yu.V. Frantsev

A cheap thin-film phototransducer with Au/n - GaAs/n⁺ - GaAs/n - AlGaAs structure that was formed using a molten solution by the method of growth separation during liquid-phase epitaxy has been developed.

Our obtained results show the advantage of application of separation-film technology for developing devices in micro- and optoelectronics.