

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СВОЙСТВА СЛАБОЛЕГИРОВАННОГО СЛОЕВ И ТРАНЗИСТОРНЫХ $n^+ - p^0 - n^0$ СТРУКТУР.

Ж.З.Мирзарайимов

И.Х.Сайдокулов

Узбекистан Республика

Узбекистана МВД Наманганский
академический лицей, Наманган,

Аннотация: В данной работе проведено исследование особенностей получения высоковольтных арсенид-галлиевых $p^0 - n^0$ переходов методом жидкостной эпитаксии.

Определены режимы эпитаксиального выращивания, обеспечивающие получение высоковольтных $p - n$ переходов на основе слаболегированного GaAs для создание субнано- и пикосекундных полупроводниковых коммутаторов.

Изучено влияние технологических факторов на электрофизические свойства эпитаксиальных слоев. Установлено, что с увеличением температуры начала кристаллизации и величины ростового зазора увеличиваются толщины низкоомной части p^0 - области и пробивные напряжения $n^+ - p^0 - n^0$ структур, а величины коэффициента передачи уменьшаются.

Изучено влияние основных технологических факторов на статические и динамические характеристики созданных приборов. Установлено, что изменение толщины раствора-расплава от 1 мм до 3 мм, либо температуры начала кристаллизации от 850 °С до 950 °С приводит к уменьшению значения коэффициента передачи $n^+ - p^0 - n^0$ структур, увеличению напряжения включения, тока управления, увеличению значения напряжения начала аномально быстрого нарастания с 50 В до 400 В. Наблюдается одновременное увеличение длительности нарастания тока, снижение стабильности момента переключения, рост значений остаточного напряжения.

Ключевые слова: Жидкофазная эпитаксия, слаболегированный GaAs, $p^0 - n^0$ переходы, начала кристаллизации, пробивные напряжения, коэффициент передачи

MAIN TECHNOLOGICAL FACTORS AFFECTING THE PROPERTIES OF LOW-DOPED LAYERS AND TRANSISTOR $N^+ - P^0 - N^0$ STRUCTURES

I.X.Saydoqulov, J.Z. Mirzarayimov

² Epublic of Uzbekistan the Ministry of Internal Affairs

Namangan academic lyceum, Namangan, Uzbekistan

Abstract: In this work, a study was made of the features of obtaining high-voltage gallium arsenide p^0-n^0 - junctions by liquid epitaxy

The regimes of epitaxial growth are determined, which ensure the production of high-voltage p-n junctions based on lightly doped GaAs for the creation of submenu and picosecond semiconductor switches.

The influence of technological factors on the electro physical properties of epitaxial layers has been studied. It has been established that with an increase in the temperature of the onset of crystallization and the size of the growth gap, the thicknesses of the low-resistance part of the p_0 -region and the breakdown voltages $n^+-p^0-n^0$ of the structures increase, while the values of the transmission coefficient decrease.

The influence of the main technological factors on the static and dynamic characteristics of the created devices has been studied. It has been established that a change in the thickness of the solution-melt from 1 mm to 3 mm, or the temperature of the onset of crystallization from 850 °C to 950 °C, leads to a decrease in the value of the transmission coefficient $n^+-p^0-n^0$ of structures, an increase in the turn-on voltage, control current, and an increase in the voltage value the beginning of an abnormally rapid increase from 50 V to 400 V. There is a simultaneous increase in the duration of the current rise, a decrease in the stability of the switching moment, and an increase in the values of the residual voltage.

$n^+-p^0-n^0$ СТРУКТУРЛИ ТРАНЗИСТОР ВА КАМ ЛЕГИРЛАНГАН ҚАТЛАМЛАРГА ТАЪСИР ҚИЛУВЧИ АСОСИЙ ТЕХНОЛОГИК ОМИЛЛАР

И.Х.Сайдоқулов, З.З. Мирзарайимов

*Ўзбекистон Республикаси ички ишлар вазирлиги
Наманган академик лицейи, Наманган, Ўзбекистон*

Аннотация . Ушбу ишда суяқ ҳолатли эпитаксия методи асосида юқори кучланишли $p-p$ ўтишларни олишнинг асосий хусусиятлари текшириб чиқилди.

Кам легирланган GaAs асосида субнано ва пикосекундлик яримўтказгичлик қалитлар яратиш учун юқори кучланишли $p-p$ ўтишларни олиш режимлари аниқланди. Технологик факторларнинг олинган эпитаксиал қатламларнинг элетро-физик хоссаларига таъсири ўрганилди. Натижада, кристалланиш бошланадиган температура ва пластинкалар орасидаги ўсиш масофаси ортиши билан p^0 -соҳанинг кичик қаршиликли қисми ва $n^+-p^0-p^0$ струк-

туранинг кучланиш ушлаш қийматининг ортиши, структуранинг узатиш коэффициентини эса камайиши аниқланди.

Асосий технологик жараёнларнинг, тайёрланган приборларнинг статик ва динамик хоссаларига кўрсатадиган таъсири ўрганилди. Эрувчи эритма орасидаги масофа 1мм.дан 3 мм.га ўзгарганда ёки кристалланиш темпе-ратураси 850°C дан 950°C га ўзгариши $p^+-p^0-p^0$ структуранинг узатиш коэффициентининг камайишига, улаш кучланишининг, бошқарувчи токнинг ортишига, аномал тез кўтариладиган кучланиш қийматининг 50 В дан 400 В га ортиши аниқланди. Бир вақтнинг ўзида токнинг кўтарилиш узунлигининг ортиши, уланиш моменти доимийлигининг камайиши, қолдиқ кучланиш қиймати ўсиши кузатилди. Тажрибада давомида олинган кам легирланган эпикаксиал қатламлар асосида, субнано ва пикосекундлик фотон – инъексионлик калитлар тайёр-ланиб турли текширишлар олиб борилди.

Калит сўзлар. Суюқ ҳолати эпитакия, кам легирланган GaAs, p^0-p^0 -ўтишлар, кристалланишбашланиши, узатиш коэффициентини, улаш кучланиши.

Введение: В настоящее время широко используются эпитаксиальные методы получения монокристаллических слоев на основе GaAs-AlGaAs для изготовления различных высоковольтных полупроводниковых приборов. При этом концентрация основных носителей заряда лежать в пределах $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и менее. Достаточно распространённой технологией получения такого материала является жидкофазная эпитаксия (ЖФЭ), проводимая в кварцевом контейнере при принудительном охлаждении раствора-расплава GaAs в Ga [1,2]. Физико-химические основы ЖФЭ описаны достаточно хорошо в ряда монографий [3,4,5] [6,7,8].

Основной проблемой при создании высоковольтных собрано и пикосекундных коммутаторов на основе GaAs является получение слоев с заданной толщиной базовых областей и низкой концентрацией легирующей примеси. Для этого было проведено исследование влияния технологических факторов на основные свойства эпитаксиальных слоев и р-п переходов. Кроме этого, при создании быстродействующих приборов, коммутирующих большие мощности, крайне важен фактор планарности параметров слоев по всей площади эпитаксиальной структуры. Результаты изучения технологических факторов в конечном счёте приводят к выбору оптимальной техно-логии и оперативному контролю структур.

Найдено оптимальное решение проблемы получения p^0-p^0 переходов на основе слаболегированных слоев GaAs с высокими значениями электрофизических параметров и заданными толщинами базовых слоев для создания сверхбыстродействующих высоковольтных импульсных трёх электродных

коммутаторов с фотонно-инжекционным механизмом переноса неосновных носителей заряда (ННЗ). При этом предельное значение импульсной мощности коммутируемой трёх электродными полупроводниковыми приборами в собрано секундном диапазоне длительностей повышено на два порядка, рабочая частота расширена до **300 кГц**, а стабильность включения достигает **5÷10 пс**.

Метод: ЖФЭ представляет собой ориентированную кристаллизацию монокристаллических слоев полупроводниковых материалов из растворов этих материалов.

Существует несколько способов эпитаксиального выращивания из раствора-расплава: рост из ограниченного объема и рост из полуограниченного объема раствора-расплава. Наиболее распространение получил метод выращивания эпитаксиальных слоев из ограниченного объема раствора-расплава. В условиях кристаллизации из ограниченных объемов растворов-расплавов достигается как значительно более высокая во производительность получения слоев с заданной толщиной по сравнению с кристаллизацией из полуограниченных объемов, так и более высокая степень их планарности. Кроме того, выращивание слоев из ограниченного объема раствора-расплава позволяет управлять скоростями кристаллизации и вести процесс в условиях более близких к квазиравновесным. На рис. 1. дана расчетная зависимость толщины эпитаксиального слоя h , выращенного из жидкой фазы толщиной $H=1$ мм, от температуры начала кристаллизации $T_{н.кр.}$, а на рис. 2., представлена расчётная зависимость толщины слоя от величины H , при разных $T_{н.кр.}$.

Полученные эпитаксиальные слои имели характерный концентрационный профиль с изменением концентраций носителей вдоль эпитаксиального слоя в пределах $10^{16} \div 10^{13} \text{ см}^{-3}$ [9,10]. Особенностью такого концентрационного профиля являются:

1. наличие области p^0 - типа проводимости всегда у подложки;
2. сложный характер распределения носителей в этой области, состоящий из двух частей: низкоомной p - у подложки и высокоомной i - с удельным сопротивлением $\rho \sim 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ на границе с p^0 - областью;
3. размещение ОПЗ на границе i - и p^0 - областей структур.

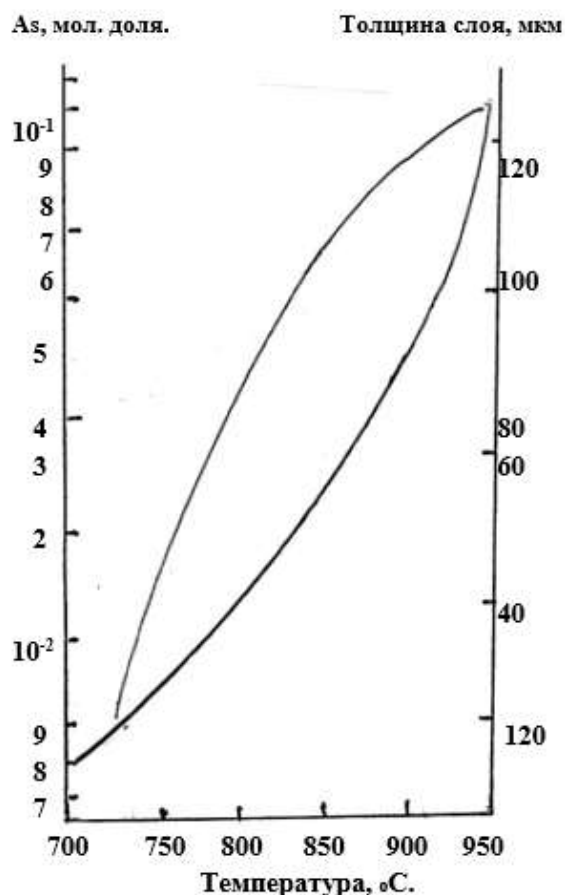


Рис. 1. Расчётная зависимость толщины эпитаксиального слоя, выращенного из жидкой фазы толщиной 1 мм от $T_{н.кр.}$ температуры начала кристаллизации.

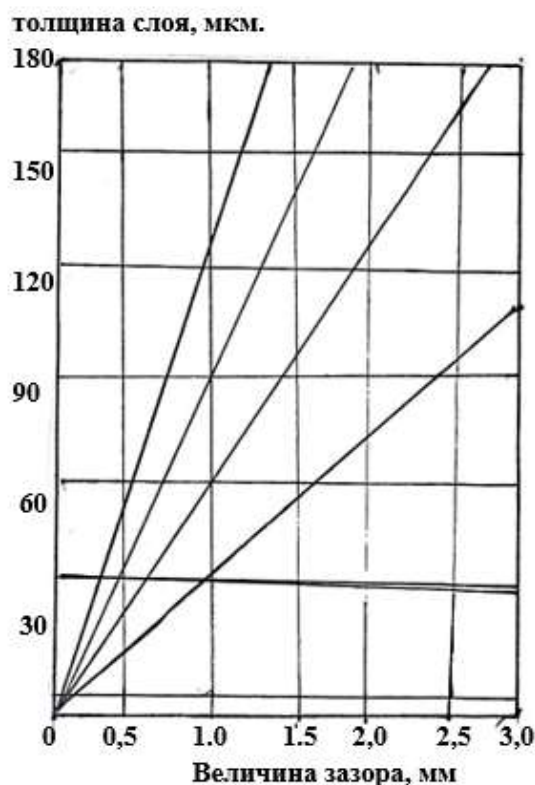


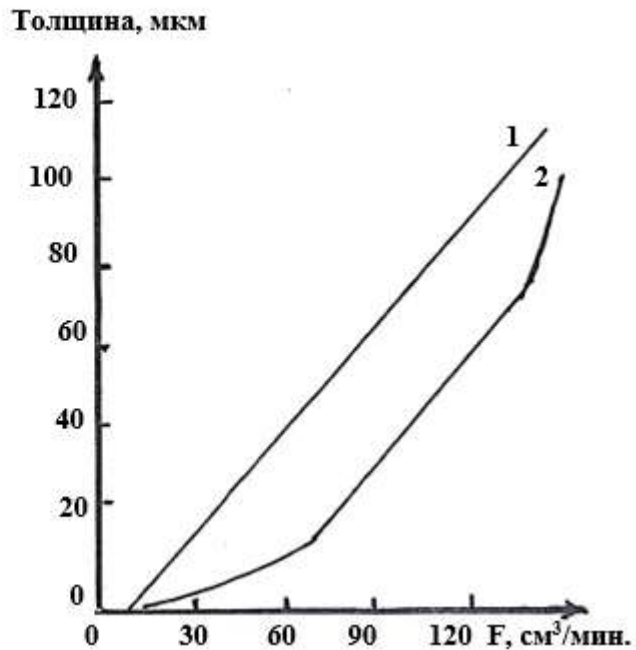
Рис. 2. Расчётная зависимость толщины слоя от величины H , при разных значениях $T_{н.кр.}$

Основными технологическими факторами, определяющими свойства слоев, являются $T_{н.кр.}$ температура начала кристаллизации, $t_{дл.отж}$ длительность и $T_{отж.}$ температура отжига раствора-расплава, F расход водорода, H толщины ростового зазора. Из физико-химических основ ЖФЭ следует, что общую толщину слоя задают температура начала кристаллизации, и толщина жидкой фазы (см. Рис. 2.). Следовательно, эти величины будут определять и градиенты концентрации примеси в различных областях слоев, а значит, и обратные напряжения p^0 - n^0 переходов.

Методика: Поэтому в ходе работы исследовались, влияние температуры начала кристаллизации, длительности отжига, величины расхода водорода и величины ростового зазора на свойства эпитаксиальных структур. В ходе работы был выбран достаточно длительный низкотемпературный отжиг при 750 °C для того, чтобы получать наименьшую суммарную концентрацию остаточных примесей а также, не сказались время и скорость потока водорода.

На рис. 3. Представлены зависимости h_p и h_{p0} от расхода водорода, которые были получены при двух температурах $T_{н.кр.}=950$ °C и 900 °C. В этих опытах толщина раствора-расплава $H=2$ мм, а длительности отжига была 3 часа.

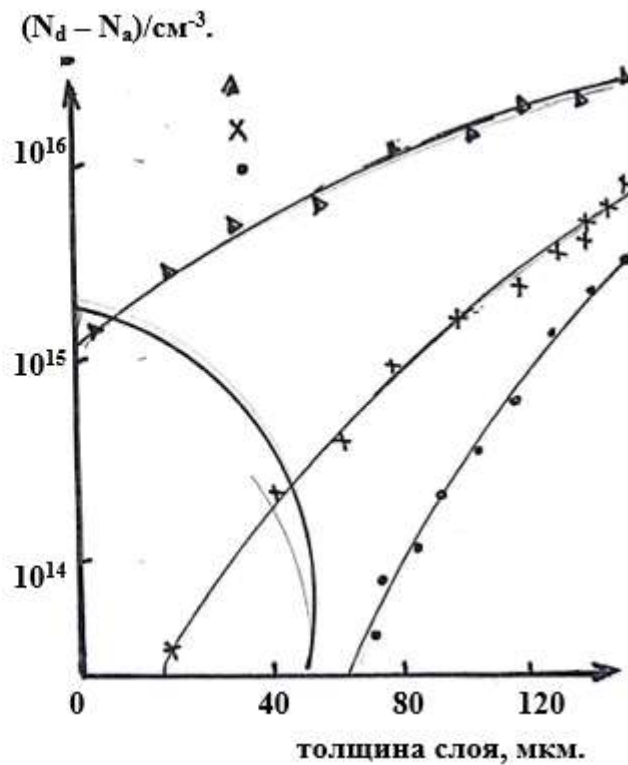
Рис. 3. Зависимости h_0 -части h_{p0} -области от расхода водорода.
 $H=2$ мм, $T_{отж}=900$ °C, .
 1- 950 °C, 2= 900 °C



В результате отжига раствора-расплава происходит очистка его от летучих примесей и окислов исходных материалов, что на несколько порядков снижает концентрацию активных примесей в эпитаксиальных слоях. Изменения распределения концентрации носителей по толщине слоя в зависимости от длительности отжига жидкой фазы при расходе водорода $F=70$ см³/мин, $H=2$ мм, $T_{н.кр.}=900$ °C представлено на рис. 4.

Повышение температуры начала кристаллизации при прочих равных условиях приводит к увеличению толщины только низкоомной h_p - части p^0 - слоя на величину $\Delta h=f(\Delta T)$, см.рис. 3., а толщина высокоомной части h_i - не должна меняться.

Рис.4. Изменение концентрации примесей N_d-N_a в зависимости от длительности термообработки: 1 – 1 час, 2- 2 часа, 3 – 3 часа



На рис. 5. Представлены зависимости h_p и h_{p0} от $T_{н.кр.}$.

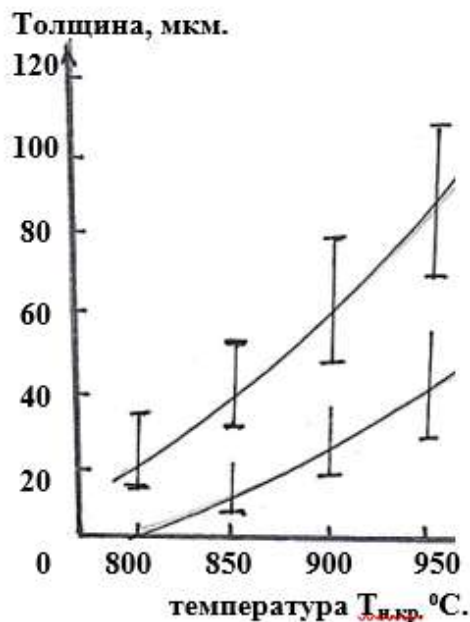


Рис.5. Зависимости h_p и h_{p0} от $T_{н.кр.}$. $H = 2$ мм, $T_{отж.} = 3$ часа, $F = 70$ см³/мин

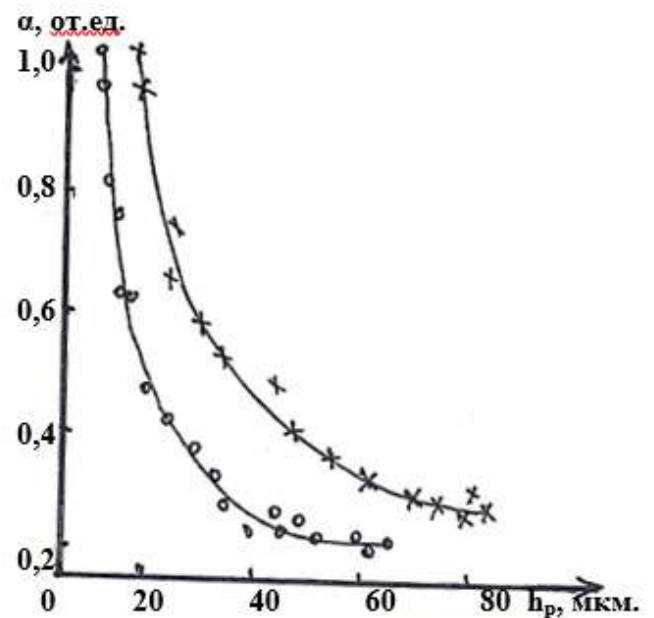


Рис.6. Зависимости коэффициента передачи $p^+-p^0-p^0$ структур от толщины низкоомной части h_{p0} – области.

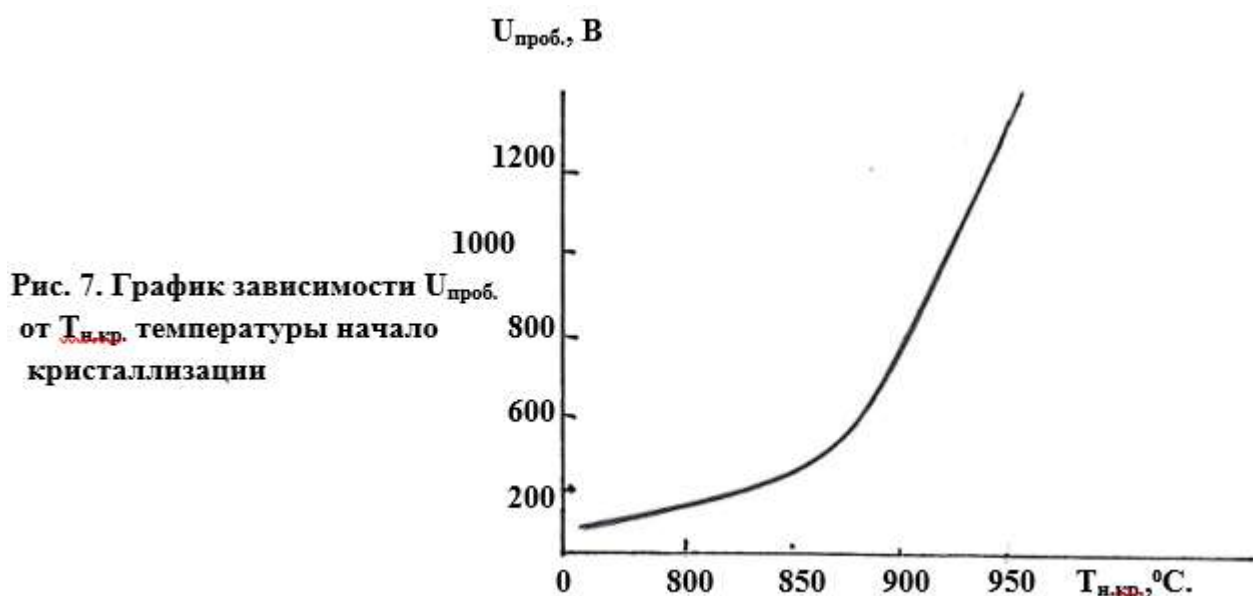
Для эффективной работы транзисторов толщина h_p - части должна быть как можно меньше, особую роль в технология получения $p^+-p^0-p^0$ играет

величина ростового зазора. С уменьшением H возрастают градиенты изменений коэффициентов сегрегации остаточных примесей (см.рис.5.).

На $n^+-p^0-p^0$ структурах, полученных в разных технологических условиях, были измерены коэффициенты передачи и их температурные зависимости, а также допустимые напряжения коллекторного перехода.

На рис.6. представлены полученные результаты зависимости коэффициенты передачи таких структур от толщины низкоомной части p^0 - области и от температуры отжига. Видна, что величина α резко падает уже при толщине $h_p \approx 30$ мкм независимо от условий получения $n^+-p^0-p^0$ структур. В области низких значений α и больших толщин h_p прослеживается связь α от технологией получения.

Влияние особенностей технологии выращивания на пробивные напряжения $U_{проб.}$ высоковольтного p^0-p^0 перехода были изучены на диодных $p^+-p^0-p^0$ структурах [1, 11]. Однако, в транзисторной структуре напряжение коллекторного перехода должно быть в $(1-\alpha)^{1/n}$ раз меньше $U_{проб.}$ единичного $p-p$ перехода.



Поэтому, $n^+-p^0-p^0$ структуры были изучены на предмет возможности получения $p-p$ переходах допустимые напряжения определяются градиентом концентрации примеси в области ОПЗ перехода и толщиной p^0 - области. С помощью электрооптического эффекта было обнаружено, что при подаче обратного напряжения ОПЗ расширяется симметрично в обе стороны только до 300 В, а затем расширение идёт только в p^0 - область. Поэтому градиент концентрации носителей и толщина именно p^0 - области определяют пробивные напряжения p^0-p^0 перехода.

Измерение $U_{\text{проб.}}$ в данной работе проводилось на мазах, полученных с использованием техники фотолитографии диаметром 1 мм. На рис.7. представлено зависимости $U_{\text{проб.}}$ от температуры начала кристаллизации.

Заклучения: Определены режимы эпитаксиального выращивания, обеспечивающие воспроизводимое получение высоковольтных p^0 - n^0 переходов на основе слаболегированного $GaAs$ для создания собрано - и пикосекундных полупроводниковых коммутаторов.

Изучено влияние технологических факторов на электрофизические свойства эпитаксиальных слоев. Установлено, что с увеличением температуры начала кристаллизации и величины ростового зазора увеличиваются толщины низкоомной части h_{p0} - области и пробивные напряжения $p^+ - p^0 - n^0$ структур, а величины коэффициента передачи уменьшается.

На основе полученных эпитаксиальных слоев слаболегированного $GaAs$ изготовлены и исследованы собрано секундные фотонное-инжекционные импульсные коммутаторы [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанова М.Н Разработка технологии получения слаболегированного $GaAs$ и создания на его основе силовых диодов и тиристоров. Дисс. на соис. учёной степ. канд. физ.- мат. наук. Л., 1981. 218 стр.
2. Никитин В.Г., Рачинская И., Сеель К.Р., Степанова М.Н., Третьяков Д.Н., Федеронко Т.П. Особенности формирования p - n переходов в арсенида галлия и его твёрдых растворах при легировании фоновимы примесями. Тез. Докл. III Всесоюзной конф. По физич. Проблессам в полупроводниковых структурах. – Одесса, 1982, т. 3, стр. 103.
3. Алфёров Ж.И. Полупроводниковые гетероструктуры. ФТП. 1977. II, стр. 2072-2083.
4. Steiniger J. Thermodynamics and calculation of the liquidus solidus gap in homogeneous monotonic alloy systems, - J/ Appl. Phys., 1970, v. 41, № 6, p. 2713.
5. Глазов В.М., Земсков В.С. Физико-химические основы легирования полупроводников. М., «Наука», 1967.
6. Фольберт О. Обзор некоторых физико-химических свойств соединений A^3B^5 в связи с диаграммами состояния. – В сб. Новые полупроводниковые материалы. Под. Ред. А.Ф.Нашельского. М. Металлургиздат, 1964, стр. 5.
7. Чистяков Ю.Д. Физико-химическое исследование механизма ориентированного нарастания металлов и полупроводников. Докт. дисс. М., МИСиС, 1967.
8. Андреев В.М., Дольгинов Л.М., Третьяков Д.Н. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов.- М., С. Радио., 1976.

9. Золотаревский Л.Я., Киви У.М., Никитин В.Г., Степанова М.Н., Тагасаар М.А., Тимофеев В.Н., Третьяков Д.Н. Распределение примесей в арсенид галлиевых структурах большой площади, выращенных методом жидкостной эпитаксии. Материалы докл. V Всесоюзного координац. совещ. секции «полупроводник. гетеро-структуры», Таллин, 1979, стр. 66-73.
10. Султанов А.М. Разработка технологии создания и исследование фотонно – инжекционных коммутаторов на основе гетеро структур $GaAs+AlGaAs$. Канд. дисс. на соис. учёной степ. канд. физ. – мат. наук, Санкт-Петербург, 1992.
11. Райцын А.Б. Создание и исследование быстродействующих тиристоров на основе гетеро структур в системе $GaAs-AlAs$. Канд. дисс. на соис. учёной степ. канд. физ.-мат. наук. – Л. 1983.