

## ПРЕДЭПИТАКСИАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОДЛОЖЕК GaAs ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ СВЧ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ, Минск, Беларусь

В работе проведено исследование качества поверхности пластин GaAs на различных этапах технологического маршрута обработки полупроводниковых пластин. Предложена методика предэпитаксиальной обработки пластин GaAs, обеспечивающая требуемое для жидкофазной эпитаксии качество поверхности подложек. Исследованы электронные транспортные свойства РНЕМТ структуры выращенной на обработанной пластине GaAs. Показано, что качество поверхности полученных пластин удовлетворяет требованиям, предъявляемым к пластинам для выращивания высококачественных гетероструктур СВЧ микроэлектроники.

Микроэлектроника быстро развивается в последние годы, что позволяет создавать все более совершенные электронные устройства. Одним из ключевых факторов, определяющих производительность таких устройств, являются свойства материалов полупроводников, используемых в их изготовлении. В частности, свойства материалов, используемых в качестве подложки для изготовления устройств, могут существенно влиять на их производительность.

В последнее время значительное внимание в микроэлектронике уделяется таким полупроводниковым материалам, как GaAs, GaN, SiC. Каждый из этих материалов обладает уникальными свойствами, которые делают их привлекательными для различных приложений в микроэлектронике [1-3]. При создании СВЧ приборов на основе приведенных полупроводниковых микро- и наноструктур принципиальную роль играет состояние поверхности полупроводника. Обработка поверхности является важным этапом в производстве микроэлектронных устройств. Поверхность подложки часто модифицируют, чтобы улучшить адгезию тонких пленок или способствовать росту определенных структур. Тип используемой обработки поверхности может оказать существенное влияние на получаемую микроструктуру и характеристики устройства [4]. В целом эти исследования демонстрируют важность обработки поверхности при формировании структур в микроэлектронике. Выбор обработки поверхности может оказать существенное влияние на получаемую микроструктуру и характеристики устройства. Вопрос улучшения характеристик контактов с поверхностью подложек, повышения воспроизводимости устройств и их стабильности стоит достаточно остро, особенно при переходе в область субмикронных размеров, что в значительной степени упирается в качество подготовки поверхности и контроля ее в процессе создания прибора.

В связи со сказанным целью предлагаемой работы является исследование состояния поверхности эпитаксиального арсенида галлия, подвергнутого различным вариантам обработки. Исследования поверхности проводились с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) на приборе FEI Helios NanoLab 600.

Структуры проходили „стандартный“ технологический маршрут обработки, включающий в себя процессы химико-механического полирования с последующим финишным полированием поверхности подложек. На первом этапе после операции резки слитка, которую проводят алмазными кругами с внутренней режущей кромкой на исходной поверхности пластины (рис 1а.) наблюдается большая концентрация структурных дефектов, формирующих сплошной нарушенный слой на поверхности. При применении стандартных процедур механической шлифовки (рис 1б.) и полировки (рис 2а.) в пластине возникают неконтролируемые механические напряжения, релаксация которых сопровождается перестройкой структурных дефектов и приводит к появлению «захороненного» нарушенного слоя, скрытого в объеме пластины на расстоянии 15-50 мкм от поверхности и негативно влияющего на параметры эпитаксиальных структур, в частности на время жизни неосновных носителей заряда.

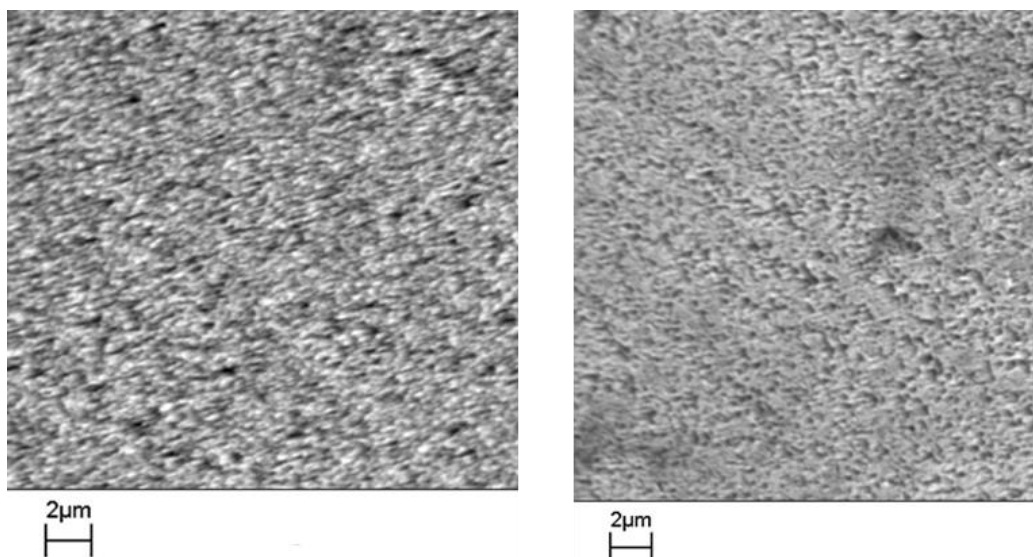


Рисунок 1 – Поверхность пластины GaAs исходная (а) и после механической шлифовки (б)

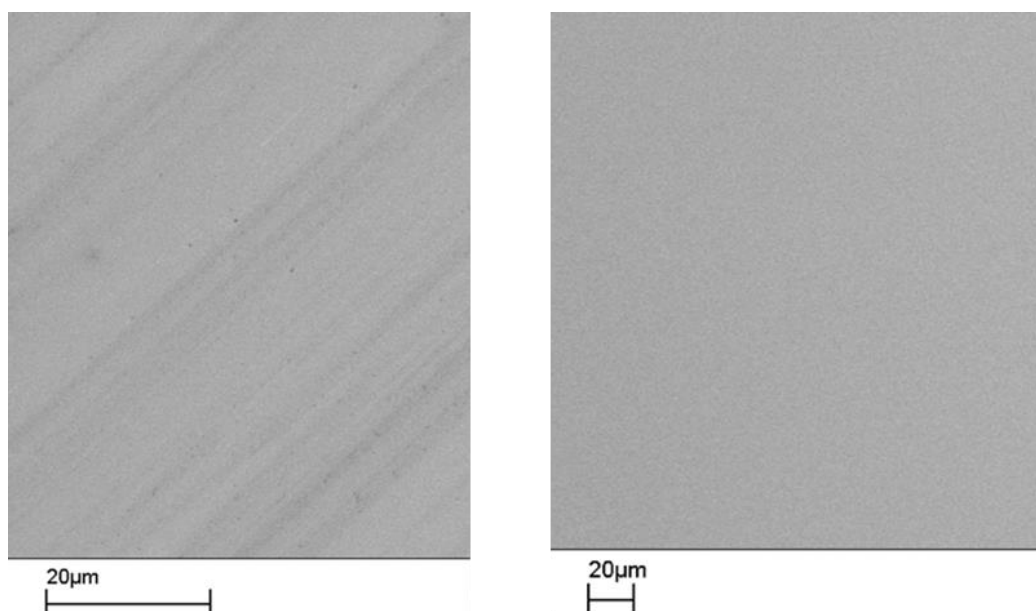


Рисунок 2 – Поверхность пластины GaAs после химико-механического полирования (а) и после финишной обработки (б)

Нами предложено повышение качества обрабатываемой поверхности за счет снижения концентрации структурных дефектов. Это достигается путем обработки подложек ультразвуком. После механического полирования и очистки поверхности на рабочей стороне подложек путем селективного или анизотропного химического травления на глубину нарушенного слоя формируют микрорельеф и обрабатывают подложки ультразвуком в течение 20 мин в деионизированной воде. Затем не позднее, чем через сутки проводят химико-механическое полирование для удаления микрорельефа на рабочей стороне подложек. Результат предлагаемого способа достигается благодаря тому, что возбуждающая упругие волны в кристалле ультразвуковая обработка пластин с развитым микрорельефом, приводит к диссоциации примесно-дефектных комплексов, которые являются эффективными центрами зарождения (конденсации) кластеров при химико-механическом полировании.

Финишная обработка поверхности GaAs в ультразвуковой ванне, дает существенно отличную картину рельефа (рис 2б). Проведенные испытания показали, что все пластины арсенида галлия после полирования имели зеркальную поверхность без рисок и окисной пленки. Рентгеновские исследования подтвердили отсутствие нарушенного слоя после проведения обработки.

#### Секция 4. Прикладные проблемы физики конденсированного состояния

Эффективность предлагаемого способа подтверждают и результаты его практической апробации. На подложках GaAs, прошедших предварительную обработку в указанных оптимальных режимах, выращена слоевая РНЕМТ структура (табл. 1).

Таблица 1

i- GaAs	8 нм
n-Al <sub>0.25</sub> Ga <sub>0.75</sub> As	20 нм
$\delta$ -Si	
Al <sub>0.25</sub> Ga <sub>0.75</sub> As (спейсер)	5.3 нм
In <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> As	10.5 нм
GaAs (буфер 2)	0.33 мкм
Al <sub>0.25</sub> Ga <sub>0.75</sub> As/GaAs СР	25 нм
GaAs (буфер 1)	43 нм
(100) GaAs (подложка)	

Эпитаксиальные слои были сплошными с четкой интерфейсной границей «слой-подложка», что свидетельствует об отсутствии на поверхности подложек стабильных окисных слоев, препятствующих смачиванию раствором-расплавом. Высота микронеровностей поверхности эпитаксиальных слоев не превышала 0,03 мкм, плотность дислокаций составляла около  $10^5 \text{ см}^{-2}$ , что соответствует плотности дислокаций в подложке (табл. 2). Электронные транспортные свойства исследовались на меза-структурах, сделанных при помощи фотолитографии в форме квадратов с вынесенными контактными площадками. Измерения удельного сопротивления и эффекта Холла проводились четырехконтактным способом в геометрии Ван-дер Пау на установке Есориа HMS 5000 при температурах 300 К и 77 К. Различие параметров на меза-структурах не превышает 0,5%.

Таблица 2

№ образца	Тип образца	T=300°K, n, $10^{12}, \text{ см}^{-2}$	T=300°K, m, $\text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$	T=77°K, n, $10^{12} \text{ см}^{-2}$	T=77°K, m, $\text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$
435mz1	РНЕМТ	2.02	7500	1.88	29270
444 mz1	РНЕМТ	2.02	7440	1.88	27450

Таким образом, предложенная методика предэпитаксиальной обработки подложек, позволяет удовлетворить требования, предъявляемые к подложкам GaAs при жидкофазной эпитаксии.

Работа выполнена при финансовой поддержке научно-технической программы Российского государства «Разработка перспективных базовых технологических процессов получения функциональных материалов, структур, компонентов и модулей для высокоэффективных изделий фотоники в Российском государстве» (Шифр «Компонент Ф»).

#### Список литературы

1. V. V. Emtsev et al. Applied Surface Science, 117-118:617-621, 1997.
2. T. Egawa et al. Applied Physics Letters, 70(17): 2275-2277, 1997.
3. A. Usui et al. Journal of Applied Physics, 47(2): 625-628, 2008.
4. Chen, C. H. et al Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 30(1), 640-645.