

*Л. Л. Терлецкая, Н. Х. Копыт, В. В. Голубцов*  
*Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова*

### **Влияние температурных полей на поведение некогерентных неоднородностей в монокристаллах и эпитаксиальных структурах арсенида галлия**

Представлены результаты экспериментального исследования влияния различных способов термообработки монокристаллов и эпитаксиальных структур арсенида галлия на поведение, концентрацию и объемную долю содержащихся в них некогерентных неоднородностей в виде мелкодисперсных легкоплавких микровключений галлия. Показана возможность практического применения движения мелкодисперсных микровключений и пути улучшения качества полупроводниковых структур.

Арсенид галлия по степени изученности в значительной степени превосходит другие полупроводниковые соединения и занимает ведущее место в современной электронике [1,2]. Однако многие проблемы физики и, особенно, технологии этого материала пока далеки от своего окончательного решения, а его потенциальные практические возможности еще далеко не полностью реализованы. Наличие большого количества трудноустраняемых источников загрязнения, способствующих формированию объемных когерентных и мелкодисперсных некогерентных (жидкометаллических микровключений, примесей) неоднородностей в кристаллах, не позволяет на данном этапе решить задачу получения чистого (близкого к “собственному”) арсенида галлия. Поэтому интерес физиков, материаловедов и технологов к GaAs не ослабевает и в настоящее время.

Когерентные неоднородности, отличающиеся от некогерентных допустимой величиной рассогласования параметра решетки и кристаллической структурой сопрягающихся материалов, проявляются в виде внутренних механических напряжений в кристалле и хорошо изучены. Некогерентные неоднородности, содержащиеся в монокристаллах соединений  $A^3B^5$  в виде мелкодисперсных проводящих микровключений собственного компонента  $A^3$ , наименее изучены.

В данной работе представлены результаты исследования влияния термообработки подложечного GaAs и эпитаксиальных структур на его основе на поведение и концентрацию мелкодисперсных легкоплавких микровключений галлия. Объемные и эпитаксиальные монокристаллы арсенида галлия из-за присутствия в них некогерентных неоднородностей рассматривались

как гетерогенная система, содержащая две и более гомогенных фаз. Такую систему можно классифицировать как матричную дисперсную среду. В ней матрица образует непрерывную среду, в которой дискретно распределены неконтактирующие между собой некогерентные неоднородности в виде мелкодисперсных микровключений галлия. Неоднородности такого типа, несмотря на жесткую связь с матрицей кристалла, при наличии градиента внутренних механических напряжений, электрического или другого поля мигрируют и коалесцируют, способствуя ускоренной деградации приборных структур [3].

Исследование микровключений галлия в подложечном и эпитаксиальном GaAs проводилось с помощью электронной микроскопии и метода диэлектротомии [4], основанного на чувствительности свойств материала к фазовому переходу первого рода при плавлении некогерентных неоднородностей.

Режим индуцированного тока в растровом электронном микроскопе позволял наблюдать в арсенидгаллиевых структурах с p-n-переходом электрически и рекомбинационно активные неоднородности. На растровых изображениях структур в указанном режиме дефекты выявлялись в виде темных пятен и темных линий (рис.1).

Дефекты такого типа наблюдались в исходных структурах, а также могут появляться, согласно данным авторов [5], в процессе деградации приборов. Размеры дефектов составляли 0,1 — 0,2 мкм и определялись по минимальной толщине поверхностного слоя, при удалении которого изображение темных пятен исчезало. Дополнительные исследования однозначно показали, что причиной наблюдаемых дефектов темных пятен является наличие в слое неоднородностей в виде мелкодисперсных микровключений галлия указанных размеров. Концентрация мелкодисперсных микровключений галлия в исходных пластинах GaAs составляла  $10^{11}$  —  $10^{12}$  см<sup>-3</sup>.

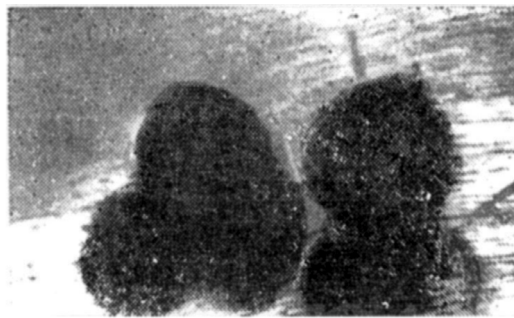


Рис. 1. Изображение темных пятен в слое p-GaAs, полученное с помощью РЭМ в режиме индуцированного тока с помощью индуцированного тока при ускоряющем напряжении  $U=15$ кВ.

Установлено, что в пластинах арсенида галлия, подвергавшихся предэпитаксиальной термообработке, объемная доля микровключений галлия значительно больше, чем в неотожженных образцах той же партии. Этот факт подтверждается значительным увеличением по площади петли гистерезиса на температурных зависимостях диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ), представленных на рис.2,а (кривые 2-2').

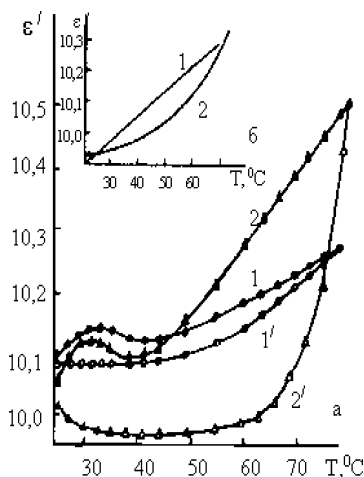


Рис. 2. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости ( $\omega=1$  МГц) полуизолирующего GaAs а: 1,1'-до отжига; 2,2'- после предэпитаксиальной обработки; б: — типичная зависимость  $\epsilon=f(T)$  для разных типов образцов после их отжига в градиенте температур; 1,2 — нагревание; 1',2'-охлаждение.

Такая закономерность свидетельствует о том, что в процессе термообработки подложек дополнительно возрастает концентрация галлия вследствие потерь летучего компонента — мышьяка.

Одним из наиболее эффективных способов улучшения электрофизических и прочностных свойств подложечного GaAs является термообработка исходных пластин в градиенте температур. Однако при таком воздействии температурного поля на образец происходит термическое разложение вещества со стороны менее нагретой поверхности с непрерывной генерацией в объем пластины точечных вакансионных дефектов, концентрация которых при любой продолжительности отжига в объеме материала составляет  $10^{15}$  —  $10^{16}$  см<sup>-3</sup>. Это приводит не только к ухудшению электрофизических свойств поверхностной области пластин, но и к увеличению их хрупкости.

Улучшение структурных и электрофизических свойств подложек и эпитаксиальных структур на их основе наблюдалось лишь при условии нали-

чия защитного слоя инактивного вещества, который перед процессом термообработки наносился на сторону образцов, противоположную направлению градиента температур. В данном случае в качестве инактивного защитного вещества использовался борный ангидрид. При таких условиях в процессе термообработки мелкодисперсные жидкометаллические неоднородности перемещались по направлению градиента температур и скапливались на более нагретой поверхности образцов.

После проведения такой термообработки и отмывки пластин и структур GaAs от борного ангидрида удалялся (шлифовкой, травлением) обогащенный металлическими неоднородностями поверхностный слой со стороны поверхности подложки или эпитаксиального слоя, контактировавших с пьедесталом нагревателя.

У всех исследованных образцов после предварительной термообработки на температурных зависимостях диэлектрической проницаемости наблюдавшиеся до отжига характерные изменения, связанные с фазовыми переходами плавление — кристаллизация галлия в некогерентных неоднородностях (т.е. появление петли гистерезиса, рис.2,а), исчезали (рис.2,б). В диапазоне температур 20 — 60°C зависимости  $T=f(\epsilon)$  имели линейный или квазилинейный характер, что свидетельствует о существенном уменьшении концентрации и даже полном отсутствии мелкодисперсных микровключений галлия в GaAs. Прочность таких подложек и выращенных на их основе эпитаксиальных слоев GaAs при сохранении других качественных параметров увеличивалась в 5 раз.

Полученные результаты исследований могут быть использованы в целях послеростового улучшения качества подложек и эпитаксиальных структур арсенида галлия, а также других структур на основе соединений  $A^3B^5$  (GaP, InP, InAs).

#### Литература

1. Уиссмен У., Френсли У., Дункан У. Арсенид галлия в микроэлектронике. — М.: Мир, 1988. — 555 с.
2. Василенко Н.Д., Терлецкая Л.Л. Анализ качества эпитаксиальных слоев соединений  $A^3B^5$  для приборов СВЧ — техники (обзор) // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. — 1994. — Вып. 21. — С.28-40.
3. Василенко Н.Д., Горбатюк А.Я. Влияние микровключений легкоплавких металлов на диэлектрические свойства кристаллов  $A^3B^5$  // УФЖ. — 1994. — Т.39, № 11-12. — С. 1116-1118.
4. Терлецкая Л.Л., Василенко Н.Д. Диэлектрометрические исследования дефектов в ПИ — GaAs // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. — 1993. — Вып. 26. — С.106-109.
5. Свердлов М.И., Филипченко В.Я. Исследование с помощью режима индуцированного тока в РЭМ гетероструктур в системе Al-Ga-As // ФТП. — 1994. — №6. — С.787-792.

*Л. Л. Терлецька, М. Х. Копит, В. В. Голубцов*

**Вплив температурних полів на поведінку некогерентних  
неоднорідностей в монокристалах та епітаксій них структурах  
арсеніду галію**

**АНОТАЦІЯ**

Представлено результати експериментального дослідження впливу різних способів термообробки монокристалів та епітаксійних структур арсеніду галію на поведінку, концентрацію та об'ємну частку некогерентних неоднорідностей у вигляді дрібнодисперсних легкоплавких мікрровключень галію. Показано можливість практичного застосування руху дрібнодисперсних мікрровключень та шляхи поліпшення якості напівпровідникових структур.

*Terletska L. L., Kopyt N. Kh., Golubtsov V. V.*

**Influence of the temperature fields on the behavior of incoherent  
inhomogeneities in gallium arsenide single crystals and epitaxial structures**

**SUMMARY**

Results of experimental study of the influence of different heat treating approaches to gallium arsenide single crystals and epitaxial structures on the behavior, concentration and the volume part of incoherent inhomogeneities in the form of fine-dispersated fusible gallium inclusions, are presented. It is shown the possibility of practical application of the motion of fine –dispersated micro-inclusions and ways of the quality improvement for semiconductor structures are demonstrated.