

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.315.592

Журнал технической физики, т. 58, в. 11, 1988

### СВОЙСТВА АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

А. Блажис, С. Жиленис, Г. Таутвайшас

При облучении твердых тел короткими лазерными импульсами возникают механические напряжения, которые порождают акустические волны широкого диапазона частот с разнообразными пространственными характеристиками (см., например, обзоры [1, 2]). Для лазерной технологии полупроводников это явление представляет интерес в связи с переносом акустическими волнами энергии лазерного излучения на расстояния, существенно превышающие размеры области ее поглощения. Если плотность переносимой энергии достаточно велика, акустические волны могут быть одним из источников так называемых эффектов дальнего действия [3], возникающих при лазерном отжиге полупроводников, в частности генерации дефектов кристаллической решетки вне области термического воздействия.

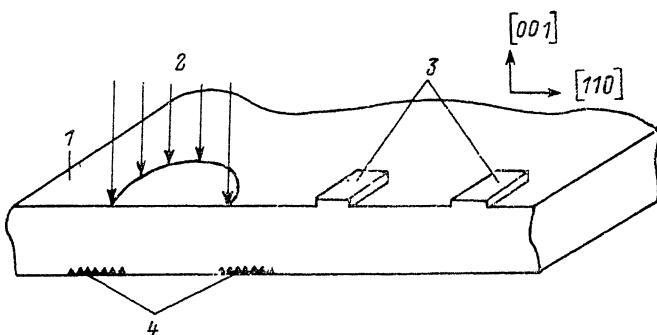


Рис. 1. Схема эксперимента.

1 — пластина арсенида галлия, 2 — зона облучения, 3 — AlGaAs детекторы, 4 — поврежденная поверхность.

В данной работе сообщается методика регистрации и характерные свойства акустических волн, возникающих в пластинах GaAs в условиях, близких к лазерному отжигу ионно имплантированных слоев.

Для исследования использовались пластины GaAs диаметром 40 мм, толщиной 0,35 мм, ориентированные в плоскости (001). Облучение поверхности пластин осуществлялось одиночными лазерными импульсами длительностью 15 нс с длиной волны 0,53 мкм и плотностью энергии 0,1—1 Дж/см<sup>2</sup>.

Для регистрации акустических волн в GaAs использовались детекторы на основе эпитаксиальных слоев твердых растворов AlGaAs, созданные методом жидкостной эпитаксии непосредственно на поверхности пластин (рис. 1). При этом обеспечивалась идеальная акустическая связь между детекторами и образцом, что позволяло определять продольную компоненту напряжений в приповерхностном слое пластин при прохождении импульсов акустических волн длительностью порядка 0,1 мкс. Благодаря малым размерам детекторов (1,0×0,2××0,01 мм) представлялось также возможным проследить развитие импульса акустических волн во время его распространения в окрестности зоны облучения.

Детекторы создавались путем эпитаксиального выращивания слоя AlGaAs толщиной 10—15 мкм из раствора-расплава арсенида галлия в галлии с добавлением алюминия [4]. Для по-

лучения необходимой формы и размеров детекторов выращенные слои подвергались травлению в полирующем травителе с применением маски из  $\text{SiO}_2$ . В результате травления на поверхности пластины образовались мезаструктуры из твердого раствора  $\text{AlGaAs}$  площадью  $1.0 \times 0.2 \text{ мм}^2$  (рис. 1). Омические контакты к детекторам создавались путем напыления на поверхность  $\text{AlGaAs}$  сплава  $\text{Au—Ce—Ni}$  с последующим его жвиганием в вакууме или атмосфере водорода.

Чувствительность детекторов к деформации параллельно поверхности пластин  $S = \epsilon_R / \epsilon_I$  ( $\epsilon_R$  — относительное изменение сопротивления детектора при деформации  $\epsilon_I$ ) составляла 60—80 и была постоянна в диапазоне относительных деформаций  $\pm 10^{-3}$  [4].

Величина типичных сигналов от пяти детекторов, расположенных в направлении [110] на расстоянии друг от друга 0.66 мм, пропорциональна напряжению поверхности пластины (рис. 2).

Как видно из рис. 2, форма импульса акустических волн с его удалением от зоны облучения испытывает заметное изменение. В окрестности зоны облучения (диаметр зоны 0.6 мм) она близка к синусоидальной (период порядка 2 мкс) с наложением колебаний более высоких частот. Скорость распространения низкочастотной составляющей импульса равна  $(1.2—1.5) \times 10^5 \text{ м/с}$ , что существенно ниже скорости рэлеевских волн в плоскости (001) в направлении [110]. Аналогичная форма импульса обнаружена и детекторами, расположенными на обратной стороне пластины. В этом случае фаза его низкочастотной составляющей имеет противоположный знак.

Такое распределение механических напряжений в пластине GaAs характерно для антисимметричных волн Лэмба нулевого порядка. В этих волнах продольные компоненты напряжений на противоположных поверхностях пластины имеют различные знаки, а скорость их распространения может быть существенно меньше скорости рэлеевских волн [5]. Эти волны обладают также сильной дисперсией, что обуславливает изменение формы импульса при его распространении. Действительно, как видно из рис. 2, с удалением от зоны облучения

рядом с увеличением общей ширины импульса его передний край расщепляется в серию импульсов, распространяющихся с различными скоростями, превышающими скорость низкочастотной составляющей.

Следует отметить, что во фронте импульса также имеются компоненты, распространяющиеся со скоростью  $(4.5—5.0) \times 10^5 \text{ м/с}$ , что больше скорости рэлеевских, но меньше продольных волн в данном направлении. Это позволяет предположить, что в переднем фронте импульса присутствуют также симметричные моды волн Лэмба. Вне зоны облучения, однако, основная доля акустической энергии заключена в антисимметричных волнах Лэмба.

Продольные напряжения в импульсе приблизительно линейно увеличиваются с повышением интенсивности облучения и при плотностях энергии облучения порядка  $1 \text{ Дж/см}^2$  достигают 1 МПа. При этих интенсивностях облучения происходит частичное испарение поверх-

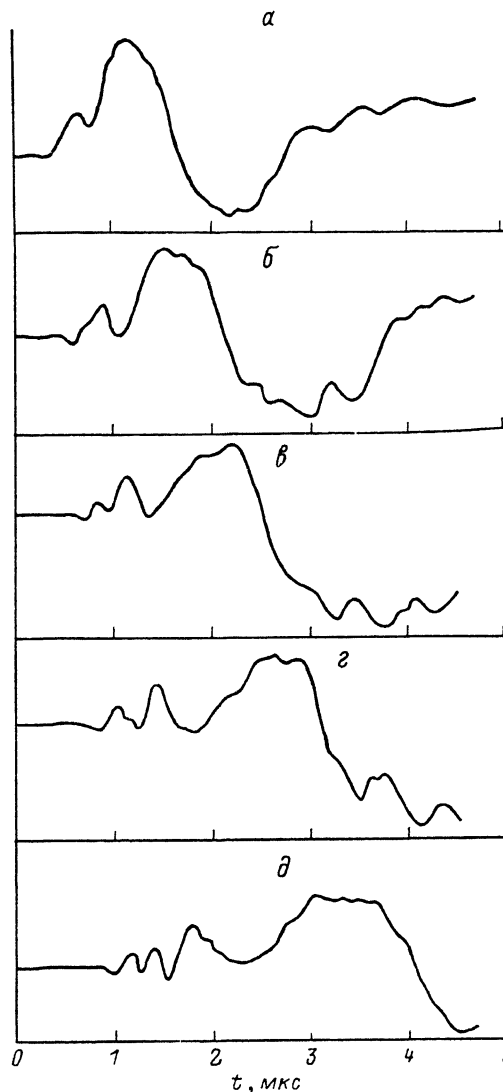


Рис. 2. Осциллограммы импульса акустических волн, зарегистрированные на различном расстоянии  $L$  от центра зоны облучения.  $L$ , мм: а — 1.5, б — 2.16, в — 2.82, г — 3.48, д — 4.14.

ности пластины, а на задней ее стороне обнаруживаются повреждения. Дефекты локализованы в области, имеющей форму кольца, центр которого совпадает с центром зоны облучения (рис. 1). Внутренний и внешний диаметры кольца составляют приблизительно 0.5 и 1 мм соответственно. Внутри кольца повреждения визуалью не обнаружены.

Повреждение тыльной поверхности пластин толщиной 0.35 мм не может быть связано с термическим воздействием, так как глубина поглощения лазерного излучения в GaAs не превышает 1 мкм. С другой стороны, оно также не связано с воздействием продольных волн. В этом случае генерация дефектов наблюдалась бы как в окрестности, так и в центральной части зоны облучения. Кольцеобразная форма области поврежденной с диаметром, близким к ширине зоны облучения, указывает на то, что генерация дефектов вероятнее всего возникает в результате воздействия сдвиговых волн, возбуждаемых на границе этой зоны.

В результате проведенных исследований установлено, что при лазерном отжиге пластин арсенида галлия возникают акустические волны, создающие переменные механические напряжения порядка 1 МПа и более. Вне зоны отжига основная часть генерированной акустической энергии переносится антисимметричными волнами Лэмба. Внутри зоны и на ее границах могут возникать акустические волны с энергией, достаточной для модификации кристаллической структуры на обратной стороне отжигаемых пластин.

### Литература

- [1] *Карabutov A. A.* УФН, 1985, т. 147, № 3, с. 605—620.
- [2] *Patel S. K. N., Tam A. C.* Rev. Mod. Phys., 1981, v. 53, N 3, p. 517—550.
- [3] *Калинушкин В. П., Куземченко Т. А., Маненков А. А.* и др. Тез. докл. I Всес. конф. «Физические и физико-химические основы микроэлектроники». Вильнюс, 1987, с. 70.
- [4] *Грицус А., Жиленис С., Шимжявичюс Ч., Шимулите Е.* ПТЭ, 1981, № 5, с. 207—208.
- [5] *Викторов И. А.* Физические основы применения ультразвуковых волн Рэля и Лэмба в технике. М.: Наука, 1966. 168 с.

Институт физики полупроводников  
АН ЛитССР  
Вильнюс

Поступило в Редакцию  
21 ноября 1987 г.

УДК 666.3 : 537.226 : 538.245

Журнал технической физики, т. 58, в. 11, 1988

## МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КОМПОЗИЦИОННОЙ КЕРАМИКЕ ТИТАНАТ БАРИЯ—ФЕРРИТ НИКЕЛЯ

*А. Е. Гелясин, В. М. Лалетин, Л. И. Трофимович*

Многофазные сегнетомагнетики, обладающие магнитоэлектрическим эффектом (МЭЭ), являются перспективными материалами для практического применения в устройствах радиоэлектроники [1, 2], что делает актуальной задачу тщательного изучения их свойств. Под МЭЭ в таких материалах понимаются возникновение переменной эдс при воздействии на поляризованные сегнетомагнетики одновременно переменным и постоянным магнитными полями. В настоящее время основными материалами для получения феррит-сегнетоэлектрических композитов являются титанат бария и феррит никеля [3—5].

Необходимым условием для существования МЭЭ в феррит-сегнетоэлектрических композициях является их высокое сопротивление. Поскольку электросопротивление ферритовой фазы на несколько порядков ниже электросопротивления сегнетоэлектрической фазы, в ферритовую фазу вводят добавки, повышающие ее электросопротивление. Например, в работе [5] исследована система титанат бария—феррит никеля, в которую в качестве добавок, повышающих электросопротивление, вводили окиси кобальта и марганца. Однако применение добавок приводит к возникновению многофазности в композиционной системе и, как следствие, ухудшению ее свойств.

Настоящая работа посвящена исследованию МЭЭ в композиционной керамике титанат бария—феррит никеля без каких-либо добавок.

Образцы получали спеканием прессованной смеси технически чистого титаната бария и нестехиометричного (по железу) феррита никеля состава  $\text{NiO} \cdot 0.98 \text{Fe}_2\text{O}_3$  при 1320 °С в тече-