

- [4] А н и щ е н к о В.С. Сложные колебания в простых системах. М.: Наука, 1990.
- [5] L o r e n z E.N. // J. Atmosp. Sci. 1963. V.20. N 2. P. 130-141.
- [6] Б ы к о в В.В., Ш и л ь н и к о в А.Л. // Тез. докл. Все-союз. конф. „Нелинейные колебания механических систем“. Горький, 1987. Ч. 1. С.11-13.
- [7] Р а б и н о в и ч М.И. // УФН. Т. 125. Вып. 1. 1978. С. 123-168.
- [8] Х о р с т х е м к е В., Л е ф е в р Р. Индуцированные шумом переходы. М.: Мир, 1987. 397 с.
- [9] S h i m a d a I., N a g a s i m a T. // Prog. Theor. Phys. 1979. V. 61. P. 1605-1616.

Саратовский государственный университет

Поступило в Редакцию  
25 декабря 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 7

12 апреля 1990 г.

06.3; 11

© 1990

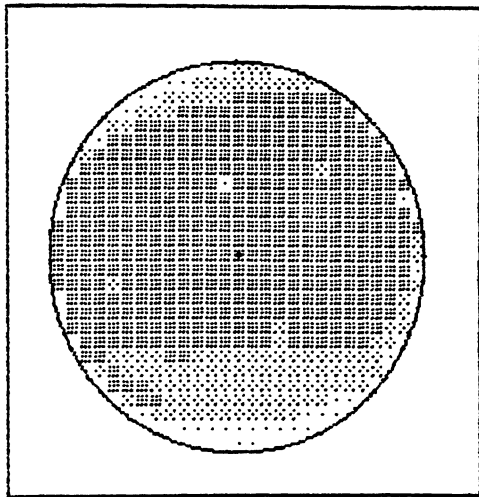
## ПОЛУПРОЗРАЧНЫЙ АРСЕНИДГАЛЛИЕВЫЙ ФОТОКАТОД НА СТЕКЛЕ С ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ ДО 1700 мКА/ЛМ

Ю.Б.Б о л х о в и т я н о в, Б.В. М о р о з о в,  
А.Г. П а у л и ш, А.С. С у р а н о в,  
А.С. Т е р е х о в, Е.Х. Х а й р и,  
С.В. Ш е в е л е в

При регистрации сверх-слабых свечений в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра наилучшую чувствительность обеспечивают вакуумные фотоэлектронные приборы с арсенид-галлиевым фотокатодом. В фотокатодах, предназначенных для работы на „отражение“, наивысшее значение интегральной чувствительности  $S = 3200$  мКА/лм получено авторами работы [1]. В полупрозрачных арсенид-галлиевых фотокатодах, предназначенных для работы на „просвет“, достигнутые значения чувствительности существенно ниже [2-4]. Для фотокатодов на основе гетероэпитаксиальных структур (ГЭС)  $p-Al_xGa_{1-x}As/p^+-GaAs/Al_yGa_{1-y}As/GaAs$ , выращенных газофазной эпитаксией из металло-органических соединений и закрепленных на подложках из сапфира через тонкий слой стекла, получена максимальная величина 1500 мКА/лм при типичном значении для серии образцов 1300 мКА/лм [2]. При использовании стекла вместо сапфира и ГЭС, полученных жидкофазной эпитаксией (ЖФЭ), величина  $S$  не превышает 1000-1200 мКА/лм [3, 4], предпо-

ложительно из-за худшего согласования коэффициентов термического расширения (КТР)  $\alpha$  ГЭС и стекла [4], а также худшего качества самих гетероструктур. В данной работе показана возможность воспроизводимого получения полупрозрачных арсенид-галлиевых фотокатодов с интегральной чувствительностью до 1700 мкА/лм с использованием стекла и ГЭС, выращенных методом ЖФЭ.

Исходные ГЭС выращивались в графитовой кассете [5] на подложках арсенида галлия марки АГЧО ориентации (100). Слой  $p^+-GaAs$  легировался цинком до уровня  $\rho \approx 4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Предварительные исследования механизма формирования гетерограниц в структурах данного типа [6] позволили обеспечить малую толщину переходных слоев ( $\leq 150 \text{ \AA}$ ) и их высокую однородность по площади. Однородность рекомбинационных параметров гетероструктур определялась методом сканирующей локальной фотолюминесценции [7] и была не хуже  $\pm 5\%$  на площади  $6 \text{ см}^2$ . Для уменьшения отражения света верхний слой ГЭС  $Al_xGa_{1-x}As$  покрывался слоем диэлектрика  $SiO_2$  толщиной  $\approx 1200 \text{ \AA}$ . Диффузионная сварка ГЭС со стеклом осуществлялась в вакууме  $10^{-4} \text{ Па}$  при температуре  $T_{св} \approx \approx 900 \text{ К}$ . При охлаждении из-за различия КТР ГЭС и стекла возникают термомеханические напряжения (ТМН). Если величина ТМН превышает порог пластической деформации ГЭС, то в структуру вводятся дефекты, являющиеся центрами безызлучательной рекомбинации. Появление дефектов, их распределение по площади контролировалось нами по величине уменьшения интенсивности краевой фотолюминесценции  $p^+-GaAs$  после сварки со стеклом. Исследование фотолюминесценции с высоким пространственным разрешением выявило возникновение в ГЭС после их приварки на стекло сетки темных линий, обусловленных дислокациями, лежащими в плоскости гетерограницы  $p-Al_xGa_{1-x}As/p^+-GaAs$ . Плотность темных линий коррелировала с величиной уменьшения усредненной по площади интенсивности фотолюминесценции. Введение дефектов в ГЭС вероятно при температурах, превышающих 650–700 К. При более низких температурах возможно растрескивание ГЭС, если величина ТМН превышает порог крупного разрушения. Для устранения крупного разрушения необходимо использование стекла с КТР, близким к арсениду галлия. Требуемое уменьшение ТМН путем достаточно точного согласования КТР стекла и ГЭС возможно лишь в области температур, меньших нижней температуры стеклования  $T_0$  [8]. Величина  $T_0$  и КТР при  $T < T_0$  определяются составом стекла. Выбрав стекло А-54 с  $\alpha = 5.44 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$  при  $T = 300 \text{ К}$ , мы устранили опасность крупного разрушения ГЭС и стеклянной подложки. При  $T > T_0$  точное согласование КТР стекла и ГЭС невозможно из-за принципиального различия механизмов теплового расширения кристаллов и стекол в интервале температур стеклования. Интервал температур стеклования приходится на ту область, где опасна пластическая деформация ГЭС. Предотвращение введения дефектов достигалось выбором достаточно малой и зависящей от  $T$  скорости охлаждения с тем, чтобы величина ТМН в интервале  $T_0 \leq T \leq T_{св}$  была ниже порога введения дислокаций. Выбор скорости осуществлял-



■ 1

■ 2

■ 3

Топограмма чувствительности фотокатода со средним значением  $\bar{S} = 1670$  мкА/лм. Области изменения  $S$ , мкА/лм: 1 - 1550-1850, 2 - 1250-1550, 3 - 950-1250.

ся с учетом вязкостно-кинетических свойств стекла. При достаточно медленном охлаждении релаксация ТМН происходила не путем введения дислокаций в ГЭС, а вследствие вязкого течения слоя стекла, прилегающего к гетероструктуре. Для ускорения охлаждения без введения дислокаций подложка из стекла А-54 толщиной 5 мм покрывалась слоем более легкоплавкого стекла С-52 с меньшей, по сравнению со стеклом А-54, нижней температурой стеклования. Таким образом, было устранено как хрупкое разрушение фотокатода, так и введение дислокаций в ГЭС на операциях диффузионной сварки и термоочистки в вакууме.

Удаление подложки и слоя  $Al_0.5Ga_{1.5}As$  проводилось селективным травлением. Методика получения и характеристики атомарно-чистой поверхности арсенида галлия в сверхвысоком вакууме описаны нами ранее [9, 10]. Активирование фотокатода осуществлялось нанесением на  $p^+-GaAs$  цезия и кислорода. Финишный термический прогрев и активирование фотокатода осуществлялись автоматизированной системой, управляемой микро-ЭВМ МС-1212.

Воспроизводимость методики проверялась изготовлением десяти макетов фотокатодов диаметром около 20 мм. Средние по площади фотокатода значения интегральной чувствительности на „просвет“  $\bar{S}$ , измеренные обычным способом при использовании источника света типа „А“, находились в пределах 1400-1700 мкА/лм. Большая часть макетов имела значение  $\bar{S} = (1500 \pm 50)$  мкА/лм, а чувствительность двух лучших образцов достигала 1650-1700 мкА/лм. Для контроля однородности  $S$  использовалось управляемое микро-ЭВМ МС-1212 устройство сканирования светово-

го луча диаметром 0,6 мм по площади фотокатода. Отметим, что наибольшее значение  $S$ , зарегистрированное нами в ряде локальных точек, составило 1900 мкА/лм. На рисунке показано распределение значений  $S$  по площади фотокатода со средней чувствительностью 1670 мкА/лм. Из рисунка видно, что разброс  $S$  на большей части площади фотокатода не превышает  $\pm 10\%$ , что позволяет его использование в регистраторах изображений. На рисунке можно отметить три типа неоднородностей: 1) локальные провалы чувствительности на фоне достаточно равномерного распределения (три точки в центральной части) — они обусловлены механическими дефектами ГЭС; 2) небольшое падение чувствительности по краям (периметру), связанное с неравномерностью термического прогрева фотокатода; 3) существенное уменьшение чувствительности в нижней части фотокатода обусловлено неравномерностью нанесения цезия и может быть устранено более симметричным расположением его источников.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Антонов Л.И., Бирюлин Ю.Ф., Вуль А.Я., Денисов В.П., Забелина Л.Г., Ичкитидзе Р.Р., Климин А.И., Козлов С.Е., Шмарцев Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 10. С. 602-605.
- [2] Andre J.P., Guittard P., Halais J., Piaget C. // J. Crist. Growth. 1981. V. 55. N 1. P. 235-245.
- [3] Rodway D.C., Allenson M.B. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1986. V. 19. N 7. P. 1353-1371.
- [4] Ботнев С.А., Заргарьянц М.Н., Коварская Е.С., Копалин Н.Г., Крыканов И.А., Петров А.Э. // Радиотехника и электроника. 1988. Т. 33. Вып. 3. С. 592-600.
- [5] Болховитянов Ю.Б. А.С. № 852976 (СССР). Оpubл. в БИ, 1981, № 29.
- [6] Volkhovityanov Yu.B., Logvinskii L.M., Rudaya N.S. // Crist. Res. and Technol. 1989. V. 24. N 11. P. 1103-1111.
- [7] Мощенко С.П., Морозов Б.В., Терехов А.С. // ПТЭ. 1989. № 2. С. 205-207.
- [8] Кондакова Л.В., Михайлова В.А. Стеклометаллические корпуса для полупроводниковых и электровакуумных приборов. М.: Энергия, 1979. 97 с.
- [9] Галицын Ю.Г., Мансуров В.Г., Пошевнев В.И., Терехов А.С. // ПТЭ. 1988. № 4. С. 191-192.

[10] Г а л и ц ы н Ю.Г., М а н с у р о в В.Г., П е ш е в-  
н е в В.И., Т е р е х о в А.С., О к о р о к о в а Л.Г. //  
Поверхность. 1989. Вып. 4. С. 147-150.

Институт физики  
полупроводников СО АН СССР,  
Новосибирск

Поступило в Редакцию  
22 сентября 1989 г.  
В окончательной редакции  
16 ноября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 7 12 апреля 1990 г.

05.3; 07

© 1990

### ПРОЯВЛЕНИЕ НЕСОРАЗМЕРНОСТИ В ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ГОЛУБЫХ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ

О.Г. В л о х, Ю.А. Н а с т и ш и н,  
И.И. П о л о в и н к о, С.А. С в е л е б а

Экспериментальное и теоретическое изучение температурной зависимости оптической активности (ОА) голубых жидкокристаллических фаз ранее проводилось в [1, 2]. Было показано, что в точках фазовых переходов между холестерической, голубыми и изотропной фазами наблюдаются скачки ОА. В настоящей работе впервые выявлена и исследована кинетика ОА голубых фаз (ВР) под действием отжига в изотропной фазе. Известно [3], что ВР являются несоизмерными фазами (НФ). Кинетика оптических свойств под действием отжига в твердокристаллических НФ хорошо изучена и теоретически обоснована. Несоразмерность структуры твердых кристаллов проявляется в виде глобального температурного гистерезиса, характерных частных циклов температурного гистерезиса двупреломления в виде „параллелограммов” и эффекта термооптической памяти (ЭТОП) [4, 5]. Целью настоящей работы является изучение возможности проявления глобального температурного гистерезиса ОА ВР, частных циклов температурного гистерезиса и ЭТОП в ВР.

В качестве рабочего вещества использовался холестерилвый эфир пеларгоновой кислоты (ХП). Измерения ОА проводились на участке неориентированного образца диаметром 1 мм. Толщина образца 100 мкм, точность измерения температуры  $\sim 0,01$  К, скорость изменения температуры 0,1 К/мин. Диаграмма влияния отжига образца в изотропной фазе на температурную зависимость ОА ВР относительно изотропной фазы показана на рис. 1. Температурная зависимость ОА, полученная после одночасового отжига