

также перспективным использование волоконно-оптического МСМ для исследования доменной структуры ферромагнитного материала [4].

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] R u g a r D., M a m i n H.J., E r l a n d - s s o n R., S t e r n J.E., T e r r i s B.D. // Rev. Sci. Instrum. 1988. V. 59. P. 2337.
- [2] Л и с т в и н В.Н., А л е к с а н д р о в А.Ю., К о з е л С.М., Ч у р е н к о в А.В. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 15. С. 36.
- [3] К о т о в Е.П., Р у д е н к о М.И. Носители магнитной записи. М.: Радио и связь, 1990. 269 с.
- [4] Б л ю ш к е А., З у б о в В.Е., К р и н ч и к Г.С., К у з ь м е н к о С.Н., Ш н а й д е р Б. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 8. С. 16.

Поступило в Редакцию  
4 января 1991 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 5

12 марта 1991 г.

05; 07

© 1991

### НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ОТЖИГ ДЕФЕКТОВ, ОТВЕТСТВЕННЫХ ЗА ИНФРАКРАСНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

З.В. Д ж и б у т и, Н.Д. Д о п и д з е

Спектры поглощения арсенида галлия, облученного электронами при температуре  $T = 77$  или  $300$  К исследовались в ряде работ [1-5]. Исследования показали наличие в спектрах поглощения облученных образцов полосы оптического поглощения в области  $1.0$  эВ. В образцах, облученных электронами при  $T = 77$  К, с увеличением дозы облучения, начиная с  $1 \cdot 10^{18}$  см<sup>-2</sup>, эта полоса перекрывается с более широкой полосой поглощения  $0.8$  эВ [3-5].

В настоящей работе представлены результаты исследования спектров поглощения образцов арсенида галлия п- или р-типа, легированного теллуром или цинком до концентраций  $10^{16}$  см<sup>-3</sup> или  $2 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup> соответственно, облученных при  $T = 77$  или  $300$  К электронами с энергией  $3$  МэВ ( $\Phi = 10^{16}$ - $3 \cdot 10^{18}$  см<sup>-2</sup>). На исследуемых образцах проводился лазерный и изохронный термический отжиг. Во избежание нагрева кристаллов во время лазерного от-

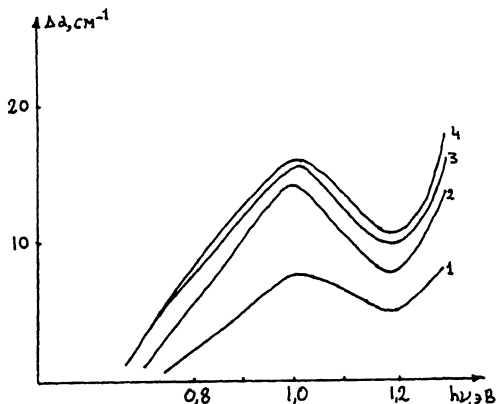


Рис. 1. Изменение спектров поглощения  $n$ -GaAs при электронном облучении ( $T_{\text{обл}} = 300 \text{ K}$ ) и последующем лазерном ( $P = 50 \text{ Вт}$ ) отжиге: 1 - до лазерного отжига, 2 -  $t = 32 \text{ мин}$ , 3 -  $t = 50 \text{ мин}$ , 4 -  $t = 58 \text{ мин}$ .

жиге они помещались в среду жидкого азота. Температура образцов в процессе лазерного воздействия оставалась ниже комнатной [6].

Для проведения лазерного отжига использовался лазер, работающий на длине волны  $1064,1 \text{ нм}$ . Мощность излучения менялась в диапазоне  $30\text{--}50 \text{ Вт}$ . Диаметр светового пятна в плоскости образца был равен  $3 \text{ мм}$ . Лазерный луч во время отжига перемещался по поверхности образца со скоростью  $1 \text{ мм с}^{-1}$ . Длительность отжига составляла  $2\text{--}60 \text{ мин}$ . Вместе с облученными электронами образцами лазерному воздействию подвергались и контрольные образцы. Исследования спектров поглощения ( $\Delta\alpha$ ) проводились методом, описанным в работе [3].

На рис. 1 показано изменение спектров оптического поглощения арсенида галлия  $p$ -типа после электронного облучения при  $T = 77 \text{ K}$  и последующего лазерного воздействия. Как видно из рис. 1, создаваемые облучением в арсениде галлия радиационные дефекты стимулируют возникновение интенсивного поглощения с максимумом в области спектра  $1,0 \text{ эВ}$ . Лазерное воздействие приводит к еще большему увеличению интенсивности поглощения. Облучение арсенида галлия электронами при  $T = 77 \text{ K}$  вызывает возникновение полосы поглощения с максимумом в области спектра  $0,8 \text{ эВ}$  (рис. 2). Как показано в работе [3], термический отжиг образцов до  $T = 300 \text{ K}$  приводит как к уменьшению интенсивности поглощения, так и сдвигу его максимума от  $0,8$  к  $1,0 \text{ эВ}$ .

Однако лазерное воздействие на образцы, облученные электронами при  $T = 77 \text{ K}$  и отожженные термически до  $300 \text{ K}$ , приводит к противоположному эффекту по сравнению с предыдущим экспериментом. Наблюдается уменьшение поглощения (рис. 2).

Следует отметить, что увеличение мощности лазерного излучения от  $30$  до  $50 \text{ Вт}$ , т.е. увеличение интенсивности фотонов, па-

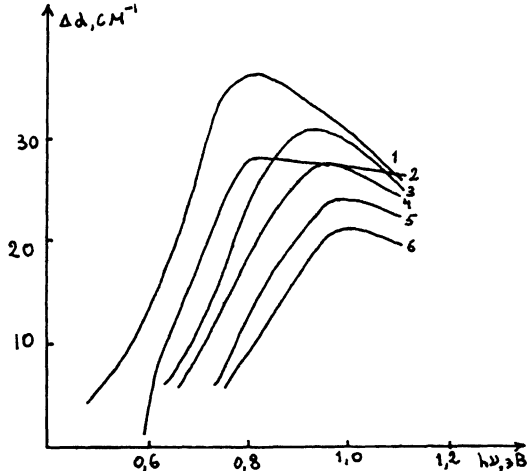


Рис. 2. Изменение спектров поглощения в результате лазерного отжига *n-GaAs* (1, 3, 5) и *p-GaAs* (2, 4, 6), облученных электронами ( $T_{\text{обл}} = 77$  К) и отожженных термически до 300 К; 1, 2 - после облучения электронами; 3, 4 - после термического отжига; 5, 6 - после последующего лазерного отжига.  $P = 50$  Вт,  $t = 32$  мин.

дающих на единицу площади образца, при постоянной длительности обработки приводит к увеличению эффекта восстановления спектров поглощения. С увеличением длительности лазерного воздействия при постоянной мощности лазерного излучения наблюдается уменьшение  $\Delta\alpha$  до некоторых значений, зависящих от мощности излучения. Дальнейшее увеличение длительности лазерного воздействия не дает заметного изменения  $\Delta\alpha$ .

Вышеизложенные эксперименты подтверждают предположение, высказанное в работах [3, 4], о различной природе дефектов, ответственных за полосы инфракрасного поглощения в арсениде галлия, облученном электронами при  $T = 77$  или 300 К.

При этом показана возможность отжига и трансформации сложных радиационных дефектов при низких температурах с помощью фотонного воздействия.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Арефьев К.П., Брудный В.Н., Будницкий Д.Л., Воробьев С.А., Цой А.А. // ФТП. 1979. Т. 13. В. 6. С.1142-1146.
- [2] Памбучьян Н.Х. Исследование процессов образования и отжига точечных радиационных дефектов в кристаллах  $A^3B^5$ , облученных быстрыми электронами. Дис. на соискание уч. ст. канд. физ.-мат. наук. Киев - Ереван. 1983. 157 с.

- [3] Д жи б у т и З.В., Д о л и д з е Н.Д., О ф е н г е й м Г.Л., Р е х в и а ш в и л и Д.Н., Ч о л о к а ш в и л и Т.С. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 5. С. 930-932.
- [4] Г о ч а л е и ш в и л и Н.Г., Д жи б у т и З.В., Д о л и д з е Н.Д., Ч о л о к а ш в и л и Т.С. // Тез. докл. У1 респ. коллоквиума „Оптика и спектроскопия полупроводников и диэлектриков“. Сухуми, 1987. С. 96-99.
- [5] Д жи б у т и З.В. Исследования свойств радиационных дефектов в  $GaAs$  и механизма их лазерного отжига. Дис. на соискание уч. ст. канд. физ.-мат. наук. Тбилиси, 1989. 169 с.
- [6] Д в у р е ч е н с к и й А.В., К а ч у р и н Г.А., Н и д а е в Е.В., С м и р н о в Л.С. Импульсный отжиг полупроводниковых материалов. М.: Наука, 1982. 208 с.

Поступило в Редакцию  
4 января 1991 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 5

12 марта 1991 г.

01; 05.4; 08

© 1991

### О ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФАЗЕ ВРАЩЕНИЯ И ЕЕ НАБЛЮДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КВАНТОВОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

А.С. Д о в г о п о л ы й, О.А. Т о к а л и н

Сравнительно недавно М. Берри обнаружил [1], что квантовые системы, описываемые гамильтонианом  $\mathcal{H}(x^j)$ , при циклической адиабатической эволюции в пространстве параметров  $x^j$ , которая может быть представлена в виде замкнутого контура  $C$ , не изменяя своего состояния, приобретают дополнительный фазовый сдвиг волновой функции (ВФ) состояния, названный им геометрической фазой:

$$\Delta\theta_B = \frac{1}{\hbar} \oint_C A_j dx^j = \frac{1}{\hbar} \iint_{S_C} (\text{rot } A)_{ij} d\sigma^{ij}, \quad (1)$$

где  $A_j = i\hbar(\Psi, \nabla_j \Psi)$  имеет смысл „индуцированного калибровочного потенциала“ [2],  $S_C$  - любая натянутая на контур  $C$  поверхность и  $d\sigma^{ij}$  - элемент этой поверхности в пространстве параметров  $x^j$ . Вследствие калибровочной инвариантности геометрическая фаза  $\Delta\theta_B$  не зависит от выбора базиса собственных ВФ гамильтониана  $\mathcal{H}(x^j)$  и определяется англономностью про-