

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИСПЕРСИЯ ПЕРВОГО ПОРЯДКА  
В ГОРЯЧЕЙ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОЙ ПЛАЗМЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ:  
ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА  
С ПИКОСЕКУНДНЫМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ**

*Н.И.Желудев, Д.Ю.Паращук*

Обнаружен новый эффект индуцирования оптической гиротропии в неравновесной электронно-дырочной плазме оптически возбужденного арсенида галлия. Эффект зарегистрирован в схеме "возбуждение–зондирование" при отражении лазерного пучка с  $\lambda = 532$  нм от поверхности [001].

Предмет настоящего письма — изложение результатов экспериментальной работы, в которой впервые в экспериментах "на отражение" обнаружена нестационарная гиротропия моно-

кристалла GaAs, возбужденного пикосекундными импульсами света. Поворот азимута поляризации составляет  $10^{-5}$  рад при плотности горячих носителей  $\sim 10^{20}$  см $^{-3}$ , время жизни наведенной гиротропии  $\sim 300$  пс.

Ранее методы нелинейной поляриметрии "на отражение" показали свою эффективность для исследования экситонных состояний<sup>1-2</sup> и изотропной электронно-дырочной плазмы в полупроводниках<sup>3</sup>. Нами для диагностики нелокального отклика горячих носителей в GaAs применена техника микрополяриметрии "на отражение" с пикосекундным временным разрешением. Использовался принцип "возбуждения-зондирования": кристаллическая поверхность [001] GaAs возбуждалась линейно поляризованным оптическим импульсом накачки, изменяющим условия отражения пробного луча с той же исходной поляризацией и длиной волны — азимут поляризации поворачивается. Накачка и пробный луч распространяются в направлении, близком к нормали поверхности. Импульсное излучение (квазинепрерывный АИГ-

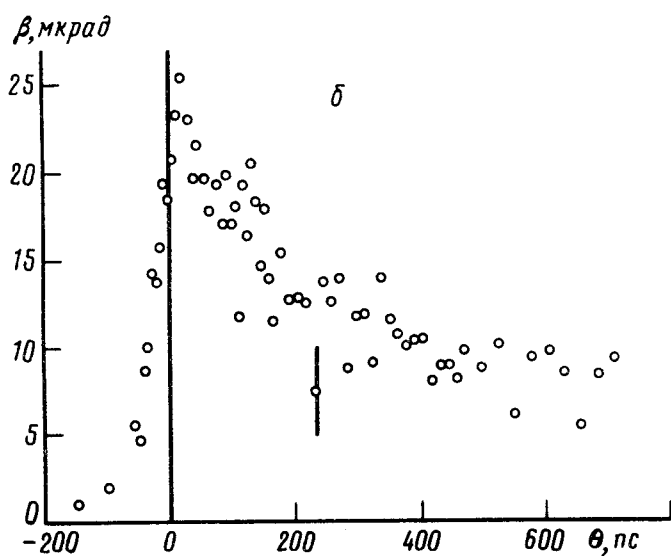
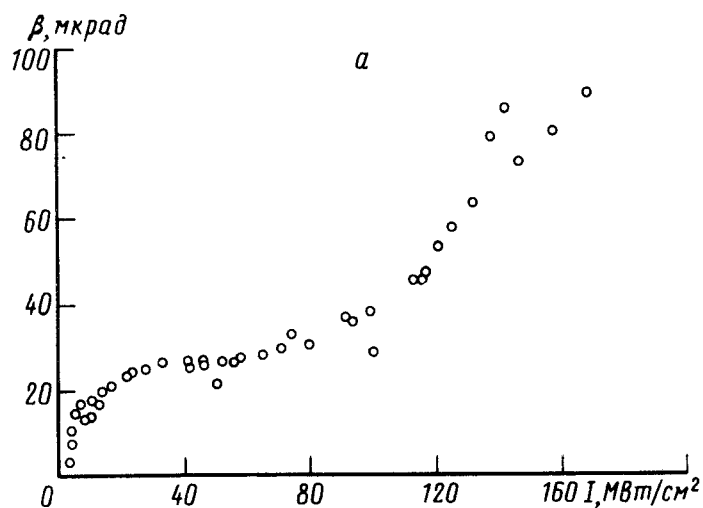


Рис. 1. Зависимость угла  $\beta$  индуцированного поворота поляризации пробного луча от а) интенсивности накачки  $I_p$  ( $\theta = 0$ ), б) задержки  $\theta$  пробного луча относительно накачки ( $I_p = 80$  МВт/см $^2$ )

лазер) в пробном канале и в 15 раз более мощном канале возбуждения имело следующие параметры: длина волны — 532 нм, длительность импульсов — 60 пс (в пачках по 20 импульсов), частота следования пачек — 1,3 кГц, площадь пятна возбуждения на образце —  $2 \cdot 10^{-4}$  см $^2$ .

Поляризатор пробного луча образован призмами Глана и Коттона с коэффициентом экстинкции  $\xi = 1,2 \cdot 10^{-6}$ . Измерения основывались на технике синхронного приема с прерыванием луча накачки на частоте 218 Гц. Чувствительность поляриметра при времени усреднения  $T = 20$  с составляла  $10^{-6}$  рад. Исследовались монокристаллические пластины, оптически полированные с двух сторон и обработанные бром-метаноловым травителем.

Установлено, что: а) угол поворота плоскости поляризации отраженного пробного луча монотонно возрастает с увеличением интенсивности накачки (рис. 1а), б) поворот кристалла вокруг направления  $\langle 001 \rangle$  на  $90^\circ$  или поворот кристалла на угол  $180^\circ$  вокруг  $\langle 110 \rangle$ , т.е. смена возбуждаемой поверхности образца, приводят к изменению знака вращения (рис. 2), г) гиротропия релаксирует за время порядка 300 пс, что определялось при изменении оптической задержки  $\theta$  между накачкой и пробным лучом (рис. 1б), д) характер ориентационной зависимости эффекта индуцированного поворота сохраняется во всем исследованном диапазоне интенсивностей и при изменении задержки между пробным и возбуждающим импульсами в пределах времени жизни индуцированной гиротропии.

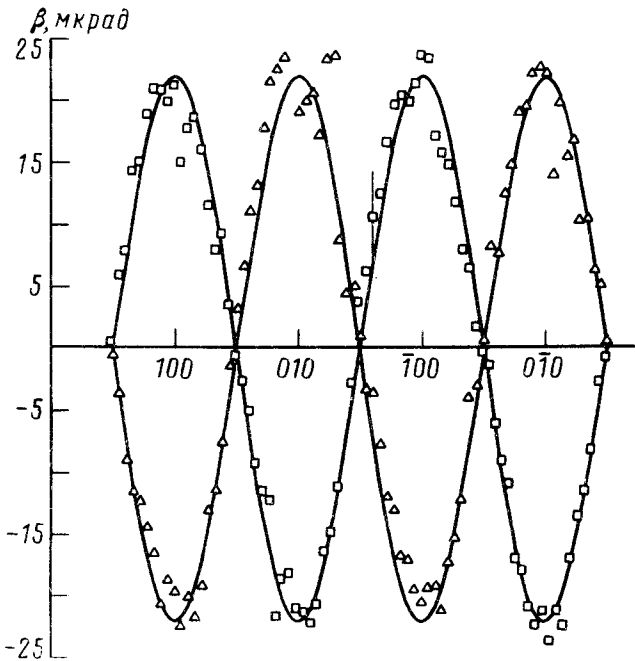


Рис. 2. Зависимость угла  $\beta$  индуцированного поворота поляризации пробного луча от ориентации азимута поляризации накачки относительно осей симметрии кристалла. Экспериментальные точки ( $\square$ ) и ( $\Delta$ ) соответствуют возбуждению противоположных граней кристалла ( $I_p = 50 \text{ МВт/см}^2$ )

Младший член в нелинейной поляризации, ответственный за наблюдаемый эффект индуцированной гиротропии GaAs, может быть представлен в виде:  $P_i^{nl} = k_m \gamma_{ijk}^{(3)} E_j^s E_k^p (E_i^p)^*$ , здесь  $k$  – волновой вектор пробной волны,  $E^p$  и  $E^s$  – напряженности полей возбуждающего и зондирующего импульсов. Симметрия эффекта, обусловленного нелинейным откликом такого типа, полностью соответствует результатам измерений. Действительно, при повороте кристалла на  $90^\circ$  вокруг направления инверсионной поворотной оси четвертого порядка (эквивалентно последовательному применению инверсионного поворота 4 и инверсии), угол поворота должен изменить знак, поскольку операция инверсии, не затрагивая истинный материальный тензор  $\gamma^{(3)}$ , меняет знак волнового вектора  $\mathbf{k}$ . Такая инверсия знака в кристаллах симметрии  $43m$  – коренное отличие любого оптического эффекта, обусловленного пространствен-

ной дисперсией первого порядка, от эффектов не связанных с направлением волнового вектора. Аналогично, поворот кристалла вокруг направления  $\langle 110 \rangle$  на  $180^\circ$  также должен сопровождаться изменением знака индуцированной гиротропии.

Объяснение наблюдаемого времени жизни гиротропии требует микроскопического рассмотрения. Плотность числа светоиндуцированных свободных носителей при интенсивности накачки  $\sim 50 \text{ МВт/см}^2$  оценивается как  $5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$  и особенности отражательных свойств поверхности определяются преимущественно плазменными эффектами <sup>3</sup>. В результате оптического возбуждения и перераспределения зарядов в высоколежащие не прямые долины тензор эффективной массы приобретает компоненты, обеспечивающие (с учетом эффектов пространственной дисперсии первого порядка) появление циркулярных токов под действием поля пробного луча, что и приводит к изменению поляризации отраженного сигнала (ср. с появлением "поперечной массы" при разогреве носителей статическим электрическим полем <sup>4</sup>). Индуцированная гиротропия релаксирует за счет процессов рекомбинации, диффузии и перераспределения электронов в центральную долину зоны проводимости с изотропной эффективной массой.

#### Литература

1. *Kuwata M.J.* Of. Luminescence, 1987, 38, 247.
2. *Kosto v Z.M., Zheludev N.I.* Opt. Lett., 1988, 13, 640.
3. *Auston D.H., Shank C.V.* Phys. Rev. Lett., 1974, 32, 1120.
4. *Конузл Э.* Кинетические свойства полупроводников в сильных электрических полях. М.: Мир, 1970.

Московский государственный университет  
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию  
10 мая 1990 г.