

**ЭКСИТОННОЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ САМОВОЗДЕЙСТВИЕ
ПИКОСЕКУНДНЫХ СВЕТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ В КОМПОЗИЦИОННОЙ
СВЕРХРЕШЕТКЕ $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$**

*С.А.Ахманов, Н.И.Желудев, Ч.Н.Иронсайд¹⁾,
З.М.Костов, С.В.Попов*

Обнаружен эффект нелинейной деполаризации пикосекундных импульсов света вблизи экситонного резонанса поглощения в композиционной сверхрешетке $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$.

1. Предметом настоящей статьи является изложение результатов экспериментальной работы, в которой в композиционной сверхрешетке $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ впервые зарегистрирована сильная нелинейная деполаризация излучения в области однофотонного экситонного резонанса. Измерения дисперсии нелинейной деполаризации, проведенные при комнатной и азотной температурах, четко демонстрируют ее экситонный характер; величина эффекта при сопоставимых интенсивностях и толщинах кристалла по крайней мере в сто раз больше нежели в объемном GaAs в режиме динамического просветления^{1, 2}.

2. Резонансная деполаризация света вблизи линии двухфотонного биекситонного резонанса поглощения впервые наблюдалась в хлористой меди³ (см. также^{4, 5}). Нелинейный экситонный поляризационный резонанс зарегистрирован в арсениде галлия, где наблюдается практически "чистое" вращение плоскости поляризации "на просвет"^{1, 2} и "на отра-

¹⁾ Университет Глазго

жение”⁶. Знак (направление) вращения связан с ориентацией кристаллографических осей образца относительно вектора электрического поля волны. Вблизи экситонного резонанса индуцированная гиротропия на просвет гигантская даже по масштабам естественной оптической активности. Удельная константа самовращения достигает в резонансе 1000 град/мм при интенсивности воздействия порядка 10 МВт/см².

Благодаря квантово-размерным эффектам, увеличивающим энергию связи свободных экситонов и ”подчеркивающим” экситонные резонансы в линейных и нелинейных спектрах поглощения в композиционных сверхрешетках на основе арсенида галлия, квантовые сверхструктуры — очевидные кандидаты для исследования поляризационных нелинейностей.

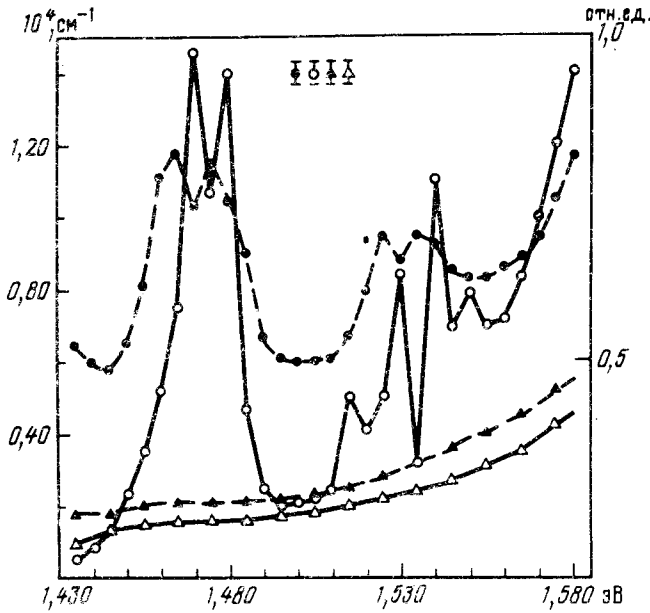


Рис. 1. Зависимость степени деполаризации излучения ○ и △ (относительные единицы) и коэффициента поглощения (см^{-1} , штриховая линия ● и ▲) при уровне воздействия 10^{-2} пДж/мкм² (● и ○) и 1 пДж/мкм² (▲ и △) как функции энергии кванта возбуждения (эВ). Температура 300 К

3. Нами исследована зависящая от интенсивности деполаризация изначально линейно поляризованных пикосекундных световых импульсов, распространяющихся через композиционную сверхрешетку в направлении $\langle 001 \rangle$, нормальном к плоскости структуры. Сверхструктура содержала двадцать пар слоев $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x = 0.3$) с равной толщиной ямы и барьера $97 \pm 3 \text{ \AA}$, приготовленная методом электронно-лучевой эпитаксии. Оптический элемент выполнен в виде диафрагмы диаметром 2 мм со стравленной подложкой и переходным слоем. Измерения проводились при температуре образца 150 и 300 К.

В качестве источника излучения использовался параметрический генератор света на кристалле LiIO_3 , с накачкой от моноимпульсного лазера на АИГ Nd^{3+} с удвоением частоты. Длительность импульса параметрического генератора ~ 20 пс, ширина спектра излучения ~ 2 нмВ, частота повторения импульсов 2 Гц. Образец помещался между скрещенными высококачественными призмами Глана. Коэффициент остаточного пропускания системы поляризатор—образец—анализатор в области прозрачности сверхрешетки составлял 10^{-4} . Под искомой степенью деполаризации света мы понимаем отношение

энергий импульсов для компонент излучения на выходе из кристалла, поляризованных перпендикулярно и параллельно исходному направлению, и, таким образом, не разделяем индуцированный поворот, самоиндуцированную эллиптичность и некогерентную деполаризацию. Однако, выбор ориентации кристалла определен требованиями, налагаемыми на геометрию эксперимента условием эффективного наблюдения нелинейной оптической активности⁵. Свет падал в направлении $\langle 001 \rangle$ и имел линейную поляризацию, составляющую угол $22,5^\circ$ с осью $\langle 100 \rangle$. В такой ориентации самоиндуцированные эллиптичность и вращение поляризации, связанные с пространственной дисперсией нелинейности и анизотропией нелинейного поглощения должны проявляться совместно. Энергия световых импульсов, возбуждающих сверхструктуру, измерялась фотометрическим приемником. энергия импульсов в опорном и сигнальном каналах поляриметра -- охлаждаемыми фотоэлектронными умножителями. Оптическая схема и остальные детали эксперимента аналогичны описанным в работе⁷.

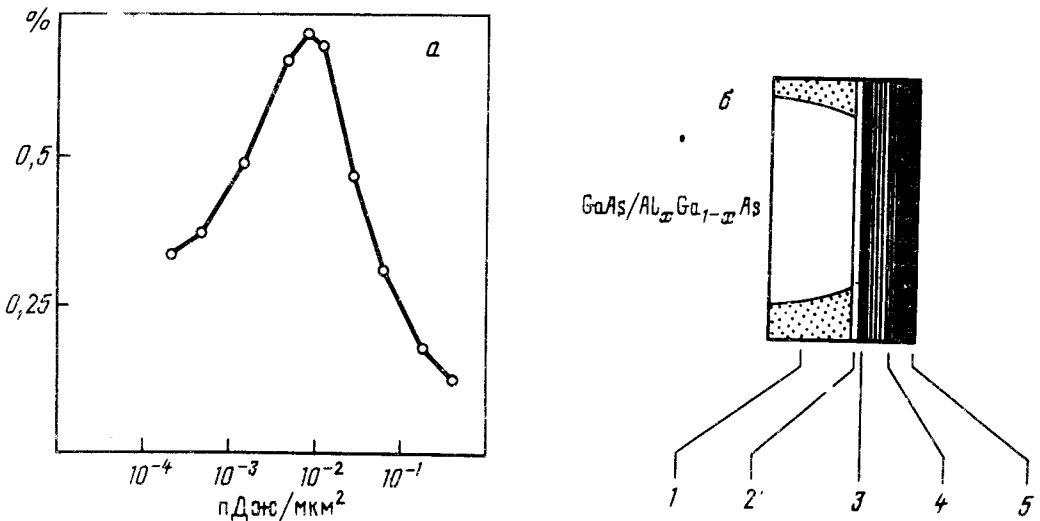


Рис. 2. *а* – Зависимость степени деполаризации (относительной энергии деполаризованной компоненты) в максимуме однофотонного экситонного резонанса при температуре 150 К. По горизонтали – энергия возбуждения в пДж/мкм². *б* – Архитектура композиционной сверхструктуры GaAs/Al_хGa_{1-х}As: 1 – подложка, $x = 0$; 2 – переходный слой, $x = 0,05 - 0,6$; 3, 5 – защитные слои, $x = 0,16 - 0,17$; 4 – 20 пар слоев сверхструктуры с $x = 0/x = 0,3$ общей толщиной 0,40 мкм, $N_p = 10^{16} \text{ см}^{-3}$

4. Основные данные приведены на рис. 1 и рис. 2*а*. В спектрах деполаризации наблюдается хорошо выраженная линия, соответствующая экситонному поглощению в этой структуре. Отчетливо различается расщепление пика на две изолированные линии, разделенные энергетическим интервалом 10 мэВ. При температуре 150 К резонансная деполаризация возрастает с накачкой вплоть до 10^{-2} пДж/мкм², достигая 0,7%. При дальнейшем росте возбуждения экситонная деполаризационная линия начинает деградировать и при уровне воздействия порядка 1 пДж/мкм² полностью "выцветает". Плотность числа фотоиндуцированных свободных экситонов может быть оценена как: $N = Qk (\hbar\omega)^{-1} R$, где k – коэффициент поглощения в резонансной области, Q – плотность энергии возбуждающего излучения, R – фактор потерь, связанных с отражением, $\hbar\omega$ – энергия кванта поглощенного излучения. Для 1 пДж/мкм² формула дает $N = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. В области энергий кванта, на 60 мэВ превышающих резонансное значение, деполаризация обус-

ловлена вовлечением межзонных переходов, причем, с ростом интенсивности воздействия за счет динамического эффекта заполнения зоны проводимости светоиндуцированными носителями происходит сдвиг спектрального края межзонного поглощения и межзонной деполяризации в "синюю" область.

Несмотря на отличие микроскопической симметрии сверхрешетки от монокристалла, исследуемое направление нормали к плоскости сверхрешетки сохраняет симметрию инверсионной поворотной оси четвертого порядка. Это означает, что природа деполяризационного экситонного резонанса может быть связана как со скрытой анизотропией кубической нелинейной восприимчивости, так и с нелокальностью нелинейного отклика (подробнее см. ⁷). В соответствии с результатами недавней работы ⁸, появление анизотропии кубической восприимчивости арсенида галлия вблизи резонанса однофотонного межзонного (экситонного) поглощения вызвано различием матричных элементов переходов в зону проводимости (экситонную зону) из зон тяжелых и легких дырок. Микроскопические расчеты пространственной дисперсии нелинейности — более сложная задача, требующая данных по матричным элементам магнитодипольных и квадрупольных переходов. Особенность сверхрешетки должна проявляться здесь в наличии нескольких характерных масштабов нелокальности: параметра кристаллической решетки, диаметра экситона, периода сверхструктуры.

5. Сильный нелинейный поляризационный резонанс самовоздействия, обнаруженный в композиционной сверхрешетке, — наиболее перспективный объект для исследования поляризационной мультистабильности и неустойчивости ("срывной" поляризационной неустойчивости) в кубических кристаллах с анизотропией нелинейной рефракции и нелинейного поглощения с внешней оптической обратной связью ^{9, 10} и для разработки нового типа элементов управления света светом, в частности, — поляризационных модуляторов ².

Литература

1. Желудев Н.И., Костов З.М., Карасев А.А., Нукупаров М.С. Письма в ЖЭТФ, 1986, **43**, 747.
2. Kostov Z.M., Zheludev N.I. Opt. and Quant. Electron., 1988, **20**, 30
3. Itoh N., Katohno T. J. Phys. Soc. Jpn., 1982, **51**, 707.
4. Zheludev N.I. J. Phys. Soc. Jpn., 1985, **54**, 2778.
5. Kuwata M., Nagasawa M. J. Phys. Soc. Jpn., 1987, **56**, 39.
6. Kostov Z.M., Zheludev N.I. Opt. Lett., 1988, **13**, 640.
7. Ахманов С.А., Желудев Н.И., Задоян Р.С. ЖЭТФ, 1986, **91**, 984.
8. Дубенская М.Г., Ильинова Т.М., Фортыхин А.А. Тезисы докладов XIII Международной конференции по когерентной и нелинейной оптике (Минск 6 — 9 сентября 1988 г.), ч. II, стр. 126.
9. Akhmanov S.A., Zheludev N.I. In: Nonlinear phenomena in solids. Ed. by M. Borisov, Singapore: World Scientific p. h., 1985, p. 233.
10. Ymoto J., Otsuka K. Phys. Rev. Lett., 1985, **54**, 1806.

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию
30 декабря 1988 г.