

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛЯРИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОННЫХ И ЯДЕРНЫХ СПИНОВ ПОЛУПРОВОДНИКА *n*-ТИПА ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ В СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

*В.Г.Флейшер, В.Л.Векуа, Р.И.Джисев,
Б.П.Зазарченя*

Обнаружена неустойчивость в системе ориентированных светом электронных и ядерных спинов полупроводника *n*-типа, приводящая к возникновению осцилляции степени поляризации ρ люминесценции с периодом, измеряемым десятками секунд. При слабом влиянии ядер деполяризация электронов происходит в полях $H < 10$ э. При сильном влиянии ядер в спектре $\rho(H)$ обнаружена линия с шириной $\approx 0,1$ э.

Поглощение циркулярно поляризованного света в полупроводниках приводит к ориентации спинов электронов и ядер. При этом средний спин ядер I зависит от среднего спина S электронов. В свою очередь S является функцией I , что проявляется, например, при деполяризации люминесценции в наклонном магнитном поле [1]. Если на опыте реализуется ситуация, соответствующая наличию "положительной обратной связи", в системе электронных и ядерных спинов возможны скачкообразные изменения поляризации и, в частности, самополяризация [2]. Можно полагать, что взаимосвязь S и I будет проявляться резко, если S чувствительно к малым магнитным полям H , а созданные светом эффективные поля H_N ядер на электронах велики (больше I). Такие поля ядер создаются, например, в кристаллах GaAs и твердых растворах на его основе. Известные до сих пор характерные величины полей, деполяризующих люминесценцию этих кристаллов измеряются сотнями и тысячами эрстед, что соответствует временам существования спиновой ориентации электронов $T_S < 10^{-8}$ сек. Все измерения T_S для этих кристаллов, за исключением [3], выполнены на неравновесных электронах в кристаллах *p*-типа. В кристаллах *n*-типа велик фон от переходов с участием неориентированных равновесных электронов. Однако, именно в этих кристаллах можно ожидать увеличения чувствительности S к H , так как исключается канал спиновой релаксации на равновесных дырках. Наблюдение ЯМР на неравновесной части ядерной поляризации при оптической накачке кристалла *n*-GaPAs в поперечном поле [4] стало возможным, по-видимому, благодаря увеличенному T_S в кристаллах *n*-типа. Попытки наблюдения аналогичного эффекта в кристаллах *p*-типа не привели к успеху.

Спектр люминесценции выбранного нами кристалла *n*-GaAlAs с концентрацией доноров $\approx 10^{16}$ см⁻³ аналогичен приведенному в [3] и включает две полосы излучения *A* и *B*. Полоса *B* обычно приписывается меж-

примесной рекомбинации, а полосе A сопоставляется переход с участием экситона. Максимумы полос A и B соответствуют энергиям 1,80 и 1,78 эв. На рис. 1 представлена зависимость $\rho(H)$ (эффекта Ханле) в максимуме полосы A , возбуждаемой циркулярно-поляризованным излучением He-Ne-лазера при 4,2К. Измерения проводились методом двухканального счета фотонов с противоположно направленными моментами. Блок-схема установки приведена в [5]. Для ослабления влияния поля H_N кварцевый модулятор, работающий на частоте 30,265 кГц, устанавливался в канале возбуждения. Таким образом, круговая поляризация возбуждающего света изменялась по знаку ($\sigma^+ \rightleftharpoons \sigma^-$) на этой частоте. Угол θ между вектором H и осью x составлял $\sim 5^\circ$, а оптическая ориентация осуществлялась вдоль оси z . В этом случае накопление большой ядерной поляризации затруднено. Как видно из рис. 1 полуширина кривой $\rho(H)$ измеряется единицами эрстед. Аналогичная кривая (с шириной на полувысоте, равной 8,8 э) получена для полосы B . В рабочем диапазоне изменения интенсивности ρ возрастает с ее увеличением для обеих полос.

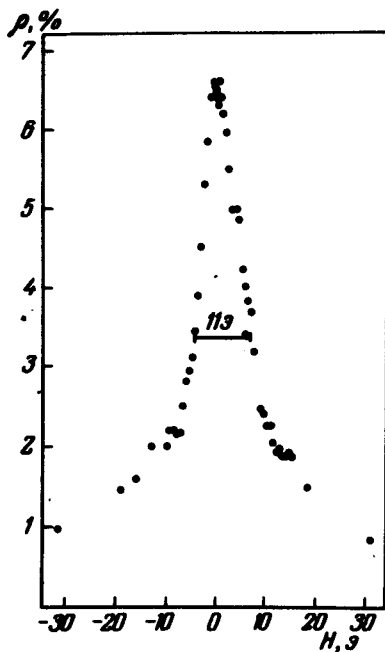


Рис. 1. Зависимость $\rho(H)$ при возбуждении светом модулированным по циркулярной поляризации на частоте 30,265 кГц

При постоянном возбуждении кристалла светом с фиксированной круговой поляризацией влияние H_N становится очень сильным. Малые изменения θ приводят к значительным изменениям вида кривой $\rho(H)$. Так, при изменении θ от 5° до 15° полуширина кривой $\rho(H)$ уменьшается от 120 до ~ 10 э, причем с одной стороны наблюдается крутой фронт, положение которого зависит от направления прохода поля H (гистерезис)

зис). Таким образом, полуширина кривой $\rho(H)$ не может быть непосредственно использована для определения T_s без исключения влияния поля H_N .

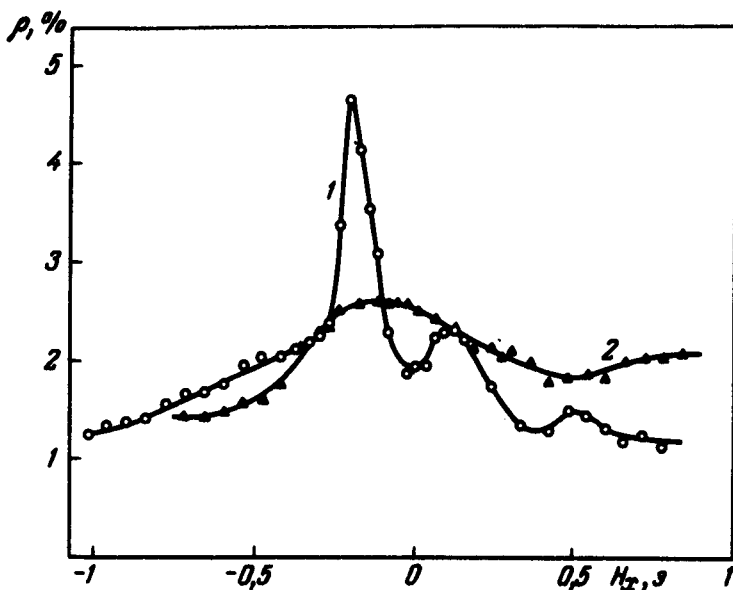


Рис. 2. Зависимость $\rho(H)$ в области малых полей при возбуждении светом с фиксированным знаком циркулярной поляризации. Кривая 1 соответствует оптической ориентации под углом $\phi \approx 3^\circ$ к оси z , а кривая 2 повороту кристалла на 5° ($\phi \approx 8^\circ$)

Очень интересная картина наблюдается в области полей, меньших одного эрстеда. Кривая 1 на рис. 2 соответствует полосе А при поле $H_z = 0,1 \text{ э}$ и оптической ориентации вдоль оси, наклоненной к z под углом $\phi \approx 3^\circ$. При этом ось z перпендикулярна к поверхности образца. Анализируется поляризация излучения вдоль z . Поле H направлено вдоль x . Земное поле скомпенсировано. Ширина и положение узкой линии зависит от величины и знака H_x , а также от угла ϕ . При смене знака H_x и сохранении знака σ узкая линия не наблюдается. Кривая 2 на рис. 2 соответствует повороту кристалла и увеличению ϕ на 5° . Функция $\rho(\sigma, H_x, H_z)$ нечетна относительно смены знака одновременно σ , H_x и H_z . Узкая область полей H_x , соответствующих увеличенным значениям ρ , по-видимому, соответствует "выключению" деполаризующего влияния поля H_N . Сильная взаимная зависимость электронной и ядерной поляризации в области малых полей сопровождается возникновением неустойчивостей. Очень малые изменения магнитного поля в определенных областях сопровождаются длительными осциллирующими изменениями поляризации. Период осцилляций и затухание зависит от знака σ и H_x . В качестве при-

мера на рис. 3 приведены изменения сигнала поляризации U_c на выходе синхронного детектора, настроенного на частоту кварцевого модулятора. Рис. 3, *a* иллюстрирует изменение во времени поляризации люминесценции после включения поля $H_x = 0,1 \text{ э}$ (зачерненные стрелки) и его выключения (незачерненные стрелки). Нулевой уровень соответствует возбуждению люминесценции линейно поляризованным светом.

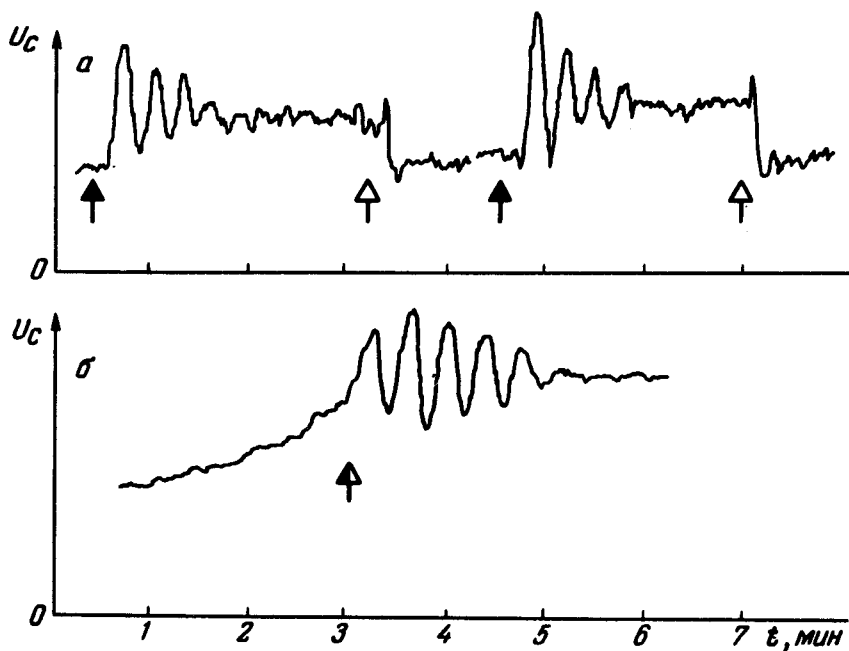


Рис. 3. Осцилляции сигнала U_c поляризации: *a* – после включения поля $H_x = 0,1 \text{ э}$ и *б* – после медленного прохождения участка H_x вблизи узкой линии (см. кривую 1 на рис. 2)

Рис. 3, *б* показывает изменение U_c при медленном прохождении области полей H_x слева от узкой линии, соответствующей кривой 1 на рис. 2. Скорость прохождения составляла $\sim 0,15 \text{ э/мин}$. При достижении полей, соответствующих максимуму линии, возникает неустойчивость и появляются осцилляции. При этом дальнейшее изменение поля прекращалось. В случае, соответствующем кривой 2 на рис. 3, в области полей $H_x \approx 0,4 \text{ э}$ наблюдался медленный (в течение $\sim 1,5 \text{ мин}$) переход из одного устойчивого состояния в другое без осцилляций. Наряду со сравнительно быстро затухающими осцилляциями, показанными на рис. 3 наблюдались длительные осциллирующие изменения поляризации при других комбинациях полей H_x и H_z . Узкие линии на кривых $\rho(H)$ наблюдались также и в случае полосы *B*.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 марта 1975 г.

Литература

- [1] М.И.Дьяконов, В.И.Перель, В.Л.Берковец, В.И.Сафаров. ЖЭТФ, 67, 1912, 1974.
- [2] М.И.Дьяконов, В.И.Перель. Письма в ЖЭТФ, 16, 10, 563, 1972.
- [3] А.И.Екимов, В.И.Сафаров. Письма в ЖЭТФ, 12, 293, 1970; Письма в ЖЭТФ, 13, 251, 1971.
- [4] Б.П.Захарченя, М.Е.Компан, В.Г.Флейшер. Письма в ЖЭТФ, 19, 734, 1974.
- [5] В.Л.Векуа, Р.И.Джиоев, Б.П.Захарченя, Е.Л.Ивченко, В.Г.Флейшер. ФТТ, 17, 1096, 1975.
-