

## ОПТИЧЕСКИ ИНДУЦИРОВАННЫЙ ДИХРОИЗМ В МАГНИТНОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ

*М.М. Афанасьев, Б.П. Захарченя, М.Е. Кожан,  
В.Г. Флейшер, С.Г. Шульман*

Обнаружен эффект оптически индуцированного циркулярного дихроизма при накачке циркулярно-поляризованным светом ферромагнитного полупроводника – сульфида европия. Наблюдавшееся уменьшение эффекта в поперечном магнитном поле хорошо аппроксимируется кривой Лоренца. Приводится методика наблюдения оптически индуцированного циркулярного дихроизма.

Исследования по оптической ориентации электронных и ядерных спинов в полупроводниках (см., например, обзоры [1,2]) проводились до настоящего времени на немагнитных полупроводниках (Li, GaSb, GaAs, и т. д.). Основным методом, использованным в этих исследованиях, было изучение поляризации люминесценции, возбуждаемой циркулярно поляризованным светом.

Представляется интересным исследование оптической накачки в магнитных полупроводниках, где можно ожидать влияние оптической ориентации спинов на магнитные свойства. Ниже приводятся результаты исследования такой накачки в ферромагнитном полупроводнике методом оптически индуцированного циркулярного дихроизма.

В эксперименте в качестве объекта накачки выбран  $\text{EuS}$  – ферромагнитный полупроводник с температурой Кюри 16К. Свет с длиной волны 0,63 мк, проходящий на край полосы поглощения, возбуждает в зону проводимости электроны с глубоких донорных центров с концентрацией  $10^{22} \text{ см}^{-3}$ , которым соответствуют  $4f$  уровни  $\text{Eu}$ , расположенные в запрещенной зоне. При этом, согласно [3] происходят переходы

$$4f^7(^8S_{7/2}) \rightarrow 4f^6(^7F_J)5d(t_{2g}).$$

При возбуждении переходов циркулярно поляризованным светом с большей вероятностью возбуждаются электроны с уровней, для которых проекция полного момента противоположна по знаку моменту фотона. Электрон, возбужденный в зону проводимости, по-видимому, должен быстро потерять свою ориентацию из-за сильного спин-орбитального взаимодействия в зоне проводимости, образованной из  $s$  и  $d$ -состояний. Центр, оставшийся без электрона, в основном состоянии имеет полный момент, равный нулю и поэтому "не помнит" своей предыдущей ориентации. В результате рекомбинации с равной вероятностью образуются центры с противоположным знаком проекции полного момента. Более вероятное поглощение циркулярно-поляризованного света центрами с определенной ориентацией и отсутствие выделенного направления при рекомбинации должно приводить к накоплению центров с моментом, ориентированным параллельно спину фотона (осуществляется оптическая накачка основного состояния). В рамках этого приближения поиск ориентации по анализу степени поляризации рекомбинационного излучения может оказаться неперспективным. Появившаяся преимущественная ориентация поглощающих центров должна привести к различным коэффициентам поглощения для лево- и правоциркулярно поляризованного света – т. е. к индуцированному светом накачки циркулярному дихроизму образца.

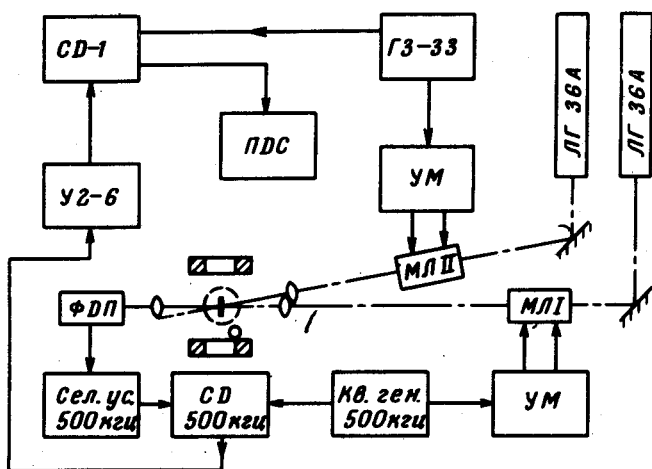


Рис. 1. Упрощенная схема эксперимента

В эксперименте образец сульфида европия – пленка, выращенная на сапфировой подложке, помещалась на хладопроводе гелиевого криостата (О на рис. 1). Накачка осуществлялась светом He – Ne-лазера. Исходная линейная поляризация лазерного света модулировалась от право- до левоциркулярной поляризации электрооптическим модулятором света МЛ-3 со снятой поляризационной призмой (МЛП на рис. 1). На модулятор через дополнительный усилитель мощности (УМ) подавалось

напряжение от генератора ГЗ-33 с частотой  $f_1$ , в несколько десятков герц. Считывание наведенного таким образом дихроизма осуществлялось лучом другого такого же лазера несколько меньшей мощности, который модулировался по поляризации аналогичным образом (МДП), но на частоте  $f_2 = 500$  кГц, задаваемой стабилизированным пьезокварцевым генератором. Прошедший через образец луч зондирующего лазера принимался лавинным фотодиодом (ФДП). При наличии дихроизма в образце на выходе приемника появляется сигнал с частотой  $f_2$  и фазой модуляции циркулярной поляризации этого луча. Для отделения сигнала дихроизма, индуцированного светом, от дихроизма, связанного со спонтанной намагниченностью и внешними магнитными полями, сигнал вторично селективно усиливался и синхронно детектировался на частоте  $f_1$  модуляции поляризации накачивающего луча.

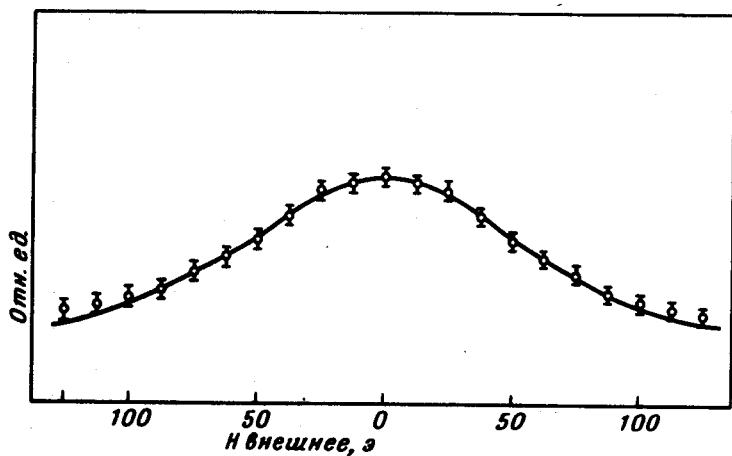


Рис. 2. Деполяризация во внешнем поперечном магнитном поле  $\Phi$  — эксперимент, сплошная кривая — аппроксимирующий лоренцевский контур с полушириной 75 э

Наблюдавшийся таким образом сигнал свидетельствовал о появлении в образце оптически индуцированного дихроизма. Доказательством того, что наблюдаемое явление связано со спиновой ориентацией при воздействии циркулярно поляризованного света служит следующая проверка. При 100-% модуляции интенсивности накачивающего пучка на той же частоте  $f_1$  в отсутствие циркулярной поляризации эффект пропал.

Для оценки величины эффекта образец помещался в переменное внешнее, параллельное лучу света магнитное поле, синфазное с накачкой; луч накачки при этом закрывался. Установка без перестройки регистрировала сигнал магнитного циркулярного дихроизма. Величина поля, создававшего такой же сигнал, как и оптическая накачка, позволяла судить о величине эффекта. В наших условиях при мощности лазера  $\approx 25 - 40$  мвт и диаметре светового пятна на образце  $\approx 0,2$  мм  $H_{\text{эквив}}$  составляло 0,1 э.

Наложение поперечного лучу света внешнего магнитного поля привело к уменьшению эффекта индуцированного дихроизма, причем зависимость довольно хорошо аппроксимируется кривой Лоренца (рис. 2). Приведенная на рис. 2 зависимость аналогична кривым деполяризации люминесценции (эффект Ханле), обычно наблюдаемым при оптической ориентации. Остается неясным, каким образом это, сравнительно слабое, внешнее поле чувствуется на фоне внутренних полей ферромагнитного образца.

Описанный эффект наблюдался на образцах, изготовленных методами взрывного испарения и вакуумного напыления.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить И.А.Смирнова и М.Н.Набоку за предоставление образцов для эксперимента, а также и И.А.Меркулова за расчет вероятностей переходов и полезные обсуждения.

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

Поступила в редакцию  
15 марта 1975г.

### Литература

- [1] В.Р.Зачарченя. Proceedings of the 11 Int. conf. on Phys. of semiconductors. Warsaw, 1972, p. 1315.
  - [2] G.Lampel. Proceedings of the 12 Int. conf. on Phys. of semiconductors, Stuttgart, 1974, p. 743.
  - [3] G.Busch, P.Wachter. Z.Angew. Phys., 26, 1, 1968.
-