

## МАГНИТОПЕРЕСТРАИВАЕМОЕ ВЫНУЖДЕННОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ В АНТИМОНИДЕ ИНДИЯ

И. И. Засавицкий, Б. Н. Мацонашвили, А. П. Шотов

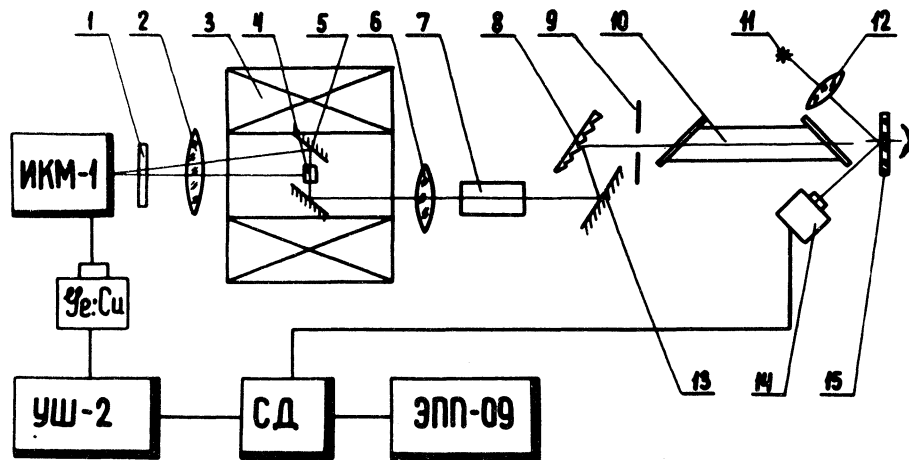
В узкозонных полупроводниках, находящихся в сильном магнитном поле, под воздействием света возможны весьма интенсивные внутризонные электронные переходы, которые при определенных условиях приводят к вынужденному комбинационному рассеянию (ВКР) света в кристалле. Возможность ВКР в магнитном поле впервые обсуждалась Вольфом /1/ для переходов  $\Delta l = 2$ , где  $l$  - номер уровня Ландау. Теория была расширена Яфетом /2/ для перехода с переворачиванием спина на данном уровне Ландау ( $\Delta s = 1$ ,  $\Delta l = 0$ ). Экспериментально было обнаружено /3/, что линия спонтанного рассеяния с переворотом спина является наиболее интенсивной и относительно узкой (полуширина ее составляет  $\sim 2 \text{ см}^{-1}$ ). Для таких переходов теория предсказывает наличие максимума в интенсивности рассеянного света, когда уровень Ферми электронов находится ниже верхнего спинового подуровня Ландау /4,5/.

О первом наблюдении ВКР в  $\text{InSb}$  для поперечной геометрии (направление излучения перпендикулярно лучу накачки) сообщалось Пателом и Шоу /6/. Недавно ВКР получено и для коллинеарной геометрии на просветленных образцах  $\text{InSb}$  /7/.

С целью получения ВКР нами также проводились опыты по рассеянию света свободными носителями в узкозонных полупроводниках. На данном этапе было

получено ВКР света на электронах проводимости в кристаллах  $\text{InSb}$   $n$ -типа для поперечной геометрии. Исследованные кристаллы имели концентрацию электронов  $(1,5 - 1,8) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и подвижность около  $1 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{в.сек.}$  В качестве источника накачки использовался лазер на  $\text{CO}_2$  с модулированной добротностью. Схема экспериментальной установки показана на рисунке 1. С помощью отражательной решетки, служащей в качестве второго зеркала резонатора, и ирисовой диафрагмы, помещенной внутрь резонатора, лазер настраивался на наиболее интенсивную линию излучения ( $\lambda = 10,591 \text{ мкм}$ ). Мощность излучения в импульсе составляла  $\sim 1$  квт при длительности импульса  $0,3 \text{ мксек}$  и частоте повторения  $200 \text{ гц}$ .

Плоскополяризованное излучение лазера фокусировалось линзой  $\text{BaF}_2$  с фокусным расстоянием  $270 \text{ мм}$  и с помощью поворотного зеркала направлялось на торец образца перпендикулярно магнитному полю, так что электрический вектор излучения накачки был параллелен направлению магнитного поля. Интенсивность излучения составляла  $\geq 10^6 \text{ вт/см}^2$  в фокальном пятне диаметром  $\leq 300 \text{ мкм}$ . Кристаллы с размерами  $2 \times 2 \times 5 \text{ мм}$  крепились в трубе сверхпроводящего соленоида так, что сторона образца длиной  $5 \text{ мм}$  была перпендикулярна магнитному полю. Торцы образца и грани резонатора были полированы, при этом параллельность между гранями была обеспечена с точностью до  $1'$ . Спектр излучения анализировался с помощью решеточного монохроматора. Чтобы отделить мощное излучение накачки, перед монохроматором помещался отсекающий интерференционный фильтр. Для регистрации сигнала использовался фотоприемник  $\text{Ge:Cu}$  и система синхронного детектирования. В сверхпроводящем соленоиде можно было получать магнитные поля до  $58 \text{ кэ}$ . При таких магнитных полях и температуре образца  $\sim 20^\circ\text{К}$  распределение электронов в зоне проводимости кристалла было вырожденным, и верхний спиновый подуровень наименьшего уровня Ландау был пустым.

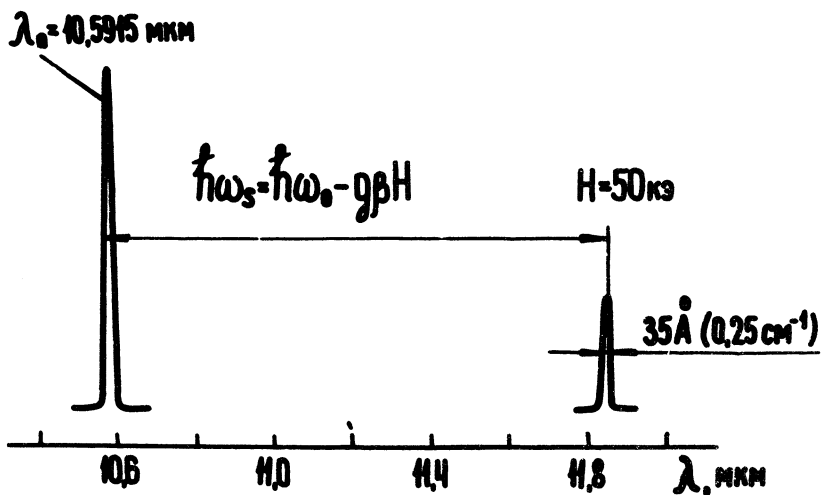


Р и с. 1. Схема эксперимента. Обозначения: 1 - фильтр, 2 - линза KRS-5, 3 - соленоид, 4 - образец, 5 - поворотные зеркала, 6 - линза ВаF<sub>2</sub>, 7 - аттенюатор, 8 - дифракционная решетка, 9 - диафрагма, 10 - лазер, 11 - лампа накаливания, 12 - линза, 13 - зеркало, 14 - фотодиод, 15 - вращающееся зеркало.

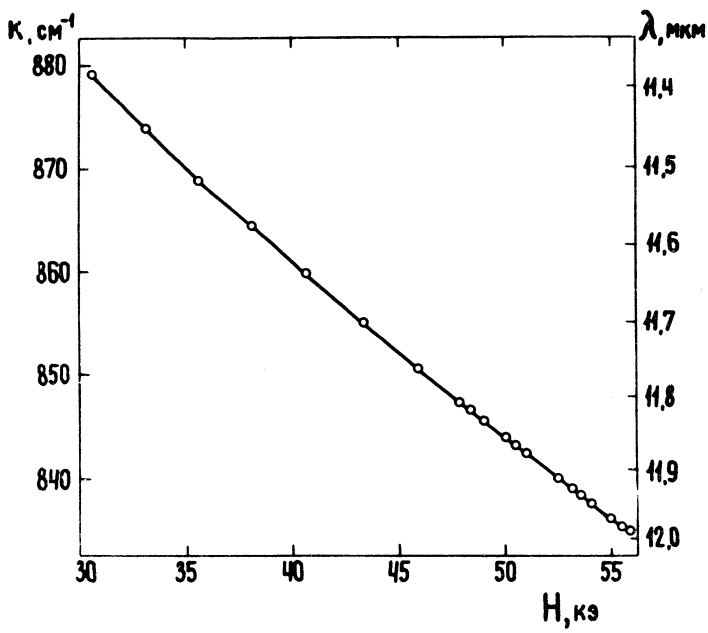
На рис. 2 показан спектр излучения лазера накачки и ВКР на электронах проводимости InSb в магнитном поле 50 кэ. Видно, что линия ВКР ( $\lambda = 11,84$  мкм) смещена в стоксовскую область. Ее частота  $\omega_s$ , соответствующая рассеянию света на электронах с переворачиванием спина, изменяется с магнитным полем по закону  $\hbar\omega_s = \hbar\omega_0 - g\beta H$ , где  $\omega_0$  - частота излучения накачки,  $g$  - фактор спектроскопического расщепления для электронов проводимости,  $\beta$  - магнетон Бора,  $H$  - магнитное поле. Измеренная ширина линии ВКР составляла  $\sim 0,25$  см<sup>-1</sup> и определялась аппаратной функцией спектрометра. Заметим, что, работая с таким разрешением, можно было бы регистрировать генерацию излучения на двух соседних модах резонатора с межмодовым расстоянием  $\sim 0,82$  см<sup>-1</sup>. Однако на опыте всегда наблюдалась только одна линия излучения, длина волны которой непрерывным образом перестраивалась при изменении магнитного поля.

Зависимость частоты ВКР света от магнитного поля представлена на рис. 3. При изменении магнитного поля от 31 до 56 кэ длина волны ВКР света перестраивалась от 11,4 до 12 мкм. Верхний предел перестройки ограничивался имеющимся магнитным полем. Нижний предел, по-видимому, связан с уменьшением сечения рассеяния при понижении магнитного поля [3]. Видно, что зависимость частоты от магнитного поля является плавной, но отклоняется от прямой. Это связано с зависимостью  $g$ -фактора от магнитного поля. В данном интервале магнитных полей среднее значение фактора  $g = -43$ .

Таким образом, получено вынужденное комбинационное рассеяние света, обусловленное переворачиванием спина электронов проводимости в магнитном поле в кристаллах InSb. Такой лазер обладает весьма узкой линией излучения и возможностью плавной перестройки с помощью магнитного поля. Детальное рассмотрение возможностей осуществления ВКР на различных узкозонных полупроводниках показывает, что весьма перспективным должны быть полупроводники



Р и с. 2. Спектр излучения лазера на  $\text{CO}_2$  и ВКР на электронах проводимости  $\text{InSb}$  в магнитном поле 50 кэ.



Р и с. 3. Зависимость частоты ВКР света от магнитного поля в InSb.

типа  $AlY$   $BuI$  и их тройные соединения (например,  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  и  $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ). Обладая достаточно большим значением  $g$ -фактора, эти материалы интересны с точки зрения варьируемой ширины запрещенной зоны. Последнее обстоятельство позволяет приблизить ширину запрещенной зоны материала к длине излучения лазера на  $CO_2$ , что должно привести к резонансному увеличению эффективности ВКР.

Авторы выражают благодарность В. И. Погодину и А. К. Куприянову за помощь в работе, а также Н. Н. Борзунову за полировку образцов.

Поступила в редакцию  
4 июня 1971 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. P. A. Wolff. *Phys. Rev. Letts.*, 16, 225 (1966).
2. Y. Yafet. *Phys. Rev.*, 152, 858 (1966).
3. R. R. Slusher, C. K. N. Patel, P. A. Fleury. *Phys. Rev. Letts.*, 18, 77 (1967).
4. В. П. Макаров, Письма в ЖЭТФ, 55, 704 (1968).
5. B. S. Wherrett, P. G. Harper. *Phys. Rev.*, 183, 692 (1969).
6. C. K. N. Patel, E. D. Shaw. *Phys. Rev. Letts.*, 24, 451 (1970).
7. R. L. Allwood, S. D. Devine, R. G. Mellish, R. A. Wood. *J. Phys. C. Solid State Phys.*, 3, L 186 (1970).