

ОПТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО РЕЗОНАНСА
В ГЕРМАНИИ
ПО ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫХ КАПЕЛЬ

*П.Г. Баранов, Ю.П. Вещунов, Р.А. Житников,
Н.Г. Романов, Ю.Г. Шретер*

Микроволновый резонанс в германии зарегистрирован по изменению интенсивности люминесценции электронно-дырочных капель (ЭДК). Обнаружено резонансное уменьшение люминесценции ЭДК на частотах циклотронного резонанса свободных носителей. При больших мощностях СВЧ обнаружена интенсивная линия, не совпадающая со спектром циклотронного резонанса.

В работе [1] наблюдался циклотронный резонанс на свободных носителях в германии в условиях существования электронно-дырочных капель. В этой работе наблюдение циклотронного резонанса проводилось обычным методом, то есть по поглощению СВЧ мощности. В работе [2] по поглощению СВЧ мощности был зарегистрирован ЭПР на мелких донорах в германии.

В настоящей работе впервые используется метод оптического детектирования для наблюдения микроволнового резонанса в германии. При высоких плотностях возбуждения и низких температурах в германии образуются электронно-дырочные капли (ЭДК), дающие интенсивную рекомбинационную люминесценцию с энергией фотонов $0,709 \text{ эв}$ [3]. Микроволновый резонанс детектировался нами по изменению интенсивности рекомбинационной люминесценции ЭДК.

Образцы чистого германия с концентрацией остаточных примесей $N_A \leq 10^{12} \text{ см}^{-3}$ имели размеры $2 \times 3 \times 1 \text{ мм}^3$ или $1 \times 3 \times 0,5 \text{ мм}^3$. Эти образцы помещались в пучность магнитного поля прямоугольного резонатора с типом колебаний H_{012} и частотой $\nu = 9000 \text{ Мгц}$. Переменное поле в резонаторе было перпендикулярно постоянному магнитному полю B_0 . Поле B_0 создавалось двумя катушками со сверхпроводящими обмотками. Возбуждение ЭДК осуществлялось сфокусированным на образце светом гелий-неонового лазера с длиной волны 6328 \AA и мощностью 50 мвт , направленным вдоль или перпендикулярно постоянному магнитному полю. Люминесценция регистрировалась в направлении поля B_0 . Эксперименты проводились при температуре $1,8 \text{ К}$. В этих экспериментах люминесценция экситонов не наблюдалась.

Микроволновый резонанс детектировался по изменению интенсивности рекомбинационной люминесценции ЭДК. Использовалась либо модуляция возбуждающего света, либо модуляция СВЧ мощности. Одновременно резонанс регистрировался также по изменению поглощения в образце СВЧ мощности.

На рис. 1 показаны спектры микроволнового резонанса, зарегистрированные по люминесценции (а) и по поглощению мощности СВЧ (б). Магнитное поле B_0 параллельно оси [100] образца. Мощность СВЧ, поступающая в резонатор, равнялась $\sim 1 \text{ мвт}$. Приведенные на рис. 1, а и б спектры почти идентичны между собой и практически совпадают со спектром циклотронного резонанса в германии. Так как спектр (б), записанный по поглощению СВЧ мощности, наблюдался нами и при отсутствии ЭДК (при слабом световом возбуждении и более высокой температуре), его можно связать с обычным циклотронным резонансом в германии. Этот резонанс возбуждается слабой компонентой переменного электрического поля, которая присутствует в образце и перпендикулярна постоянному полю B_0 . Таким образом, зарегистрированный с помощью метода оптического детектирования спектр на рис. 1, а является спектром циклотронного резонанса электронов и дырок в германии. Насколько нам известно, оптическое детектирование циклотронного резонанса в настоящей работе наблюдалось впервые.

Спектр на рис. 1, а может быть объяснен следующим образом. По-видимому свободные электроны и дырки, поглощая СВЧ мощность при цик-

лотронном резонансе, разогреваются и, воздействуя на ЭДК, вызывают испарение капель и уменьшение интенсивности их рекомбинационной люминесценции.

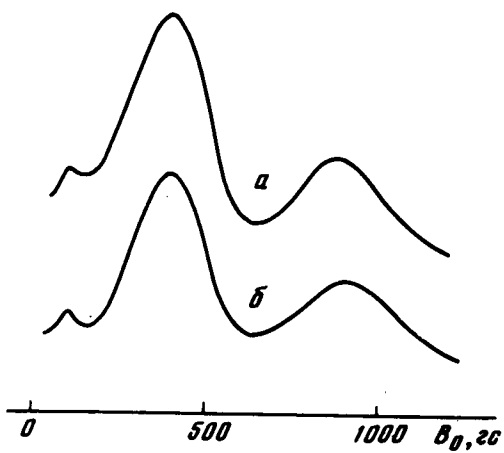


Рис.1.Спектр микроволнового резонанса в германии, зарегистрированный по изменению интенсивности люминесценции ЭДК (а) и по поглощению СВЧ мощности (б): $T = 1,8\text{K}$, $P_{\text{СВЧ}} \approx 1 \text{ мвт}$, $B_0 \parallel [100]$

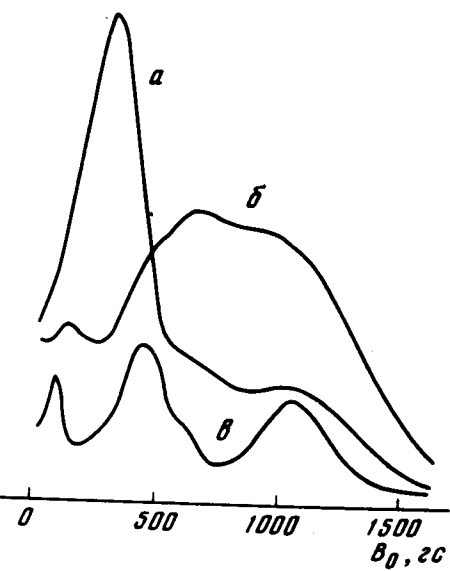


Рис.2.Спектр микроволнового резонанса в германии, зарегистрированный по изменению интенсивности люминесценции ЭДК (а) и по поглощению СВЧ мощности (б): $T=1,8\text{K}$, $P_{\text{СВЧ}} \approx 150 \text{ мвт}$, $B_0 \parallel [111]$. Спектр, зарегистрированный по поглощению СВЧ мощности (в) при $P_{\text{СВЧ}} \approx 2 \text{ мвт}$

В работе [4] наблюдалось влияние СВЧ пробоя экситонов на люминесценцию ЭДК в германии, где это влияние объяснялось действием фонон-

ного ветра, создаваемого горячими носителями. Возможно, что наблюдавшийся нами эффект также можно объяснить действием фонованого ветра, создаваемого носителями, разогретыми циклотронным резонансом.

Увеличение мощности СВЧ в резонаторе до $100 + 200 \text{ мвт}$ приводит к существенным изменениям в спектрах микроволнового резонанса. При этом наблюдается резкое отличие в спектрах, зарегистрированных по люминесценции ЭДК (рис. 2, а) и по поглощению мощности СВЧ (рис. 2, б). Магнитное поле B_0 в этом эксперименте направлено вдоль оси $[111]$ образца.

На спектре (б) рис. 2 наблюдается уширение линий циклотронного резонанса, вызванное разогревом носителей. Для сравнения на рис. 2 в приведен спектр, зарегистрированный по поглощению мощности СВЧ при малой СВЧ мощности в резонаторе ($\sim 2 \text{ мвт}$).

На спектре (а) рис. 2 наблюдается интенсивная линия в области 400 гс , которая не видна в спектрах (б) и (в). Эта линия в максимуме соответствует резкому уменьшению интенсивности люминесценции ЭДК, достигающему 30%. Эта линия появляется только при мощности СВЧ в резонаторе больше $\sim 10 \text{ мвт}$ и резко возрастает с увеличением мощности. При меньших мощностях СВЧ она, по-видимому, маскируется сигналом циклотронного резонанса. Уменьшение интенсивности возбуждающего света в пять раз вызывает сужение этой линии в 1,5 раза.

Спектр (а) рис. 2 не соответствует обычному циклотронному резонансу. Природа наблюдаемой линии пока не ясна. Можно лишь предположить, что она связана либо с парамагнитным резонансом электронов в ЭДК, либо с индуцированным циклотронным резонансом в ЭДК [5]. При этом также может происходить разогрев ЭДК из-за поглощения СВЧ мощности и изменение интенсивности люминесценции вследствие испарения ЭДК.

Авторы благодарны С.М.Рывкину и Г.Е.Пикусу за полезные дискуссии.

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

Поступила в редакцию
11 июля 1977 г.

Литература

- [1] J.C.Hensel, T.G.Phyllips, T.M.Rice, Phys. Rev. Lett., **30**, 227, 1973.
- [2] R.E.Pointinen, T.M.Sanders. Phys. Rev. Lett., **5**, 311, 1960.
- [3] Ya. E.Pokrovskii. Phys. Stat. Sol. (a), **11**, 385, 1972.
- [4] А.А.Маненков, С.П.Смолин. Письма в ЖЭТФ, **25**, 436, 1977.
- [5] C.W.Ford, I.K.Furdyna, S.A.Werner. Phys. Rev., **B12**, 1452, 1975.