

ВЛИЯНИЕ КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ ЭКСИТОНОВ НА ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В ГЕРМАНИИ

А.С.Алексеев, Т.И.Галкина, В.Н.Масленников

Р.Г.Хакимов, Е.П.Щебнев

Исследовано поглощение ультразвука электронно-дырочными каплями (ЭДК) в германии. Обнаружено, что температурная зависимость поглощения имеет резонансный вид с максимумом при $T \sim 2,4\text{К}$. Ширина резонанса $\sim 1\text{К}$. В поле ультразвуковой волны наблюдалось гашение люминесценции ЭДК.

Со времени теоретического предсказания Келдышем существования конденсированной фазы экситонов [1] и экспериментального обнаружения этой фазы (см., например, обзоры [2]) значительная часть всех последующих работ была посвящена свойствам электронно-дырочных капель (ЭДК): энергии связи, равновесной концентрации носителей в ЭДК, механизму образования, заряду и т. п. В то же время практически отсутствовали какие-либо сведения о взаимодействии ЭДК с фононами (как равновесными, так и неравновесными).

Ультразвук, поток неравновесных монохроматических фононов, может поглощаться ЭДК (при $\lambda_{ЗВ} \ll R_{\text{капли}}$) благодаря такому же механизму, как при взаимодействии с вырожденной электронно-дырочной плазмой [3]. По-видимому, это явление было обнаружено в работе [4], однако интерпретация, основанная на экситон-фононном взаимодействии кажется неубедительной¹⁾.

В другом предельном случае $\lambda_{ЗВ} \gg R_{\text{капли}}$, каждая ЭДК в поле ультразвуковой волны будет ускоряться как единое целое. В результате такого воздействия ЭДК будут колебаться и рассеивать энергию звука, взаимодействуя с тепловыми фононами решетки [3].

Нами исследовалось затухание ультразвука частотой 160 МГц в чистом германии в интервале температур 4,2 – 1,6К при оптическом возбуждении неравновесных носителей. Блок-схема установки представлена на рис. 1. В качестве источника оптической накачки использовался лазер He – Ne с длиной волны 1,15 мкм мощностью до 50 мвт.

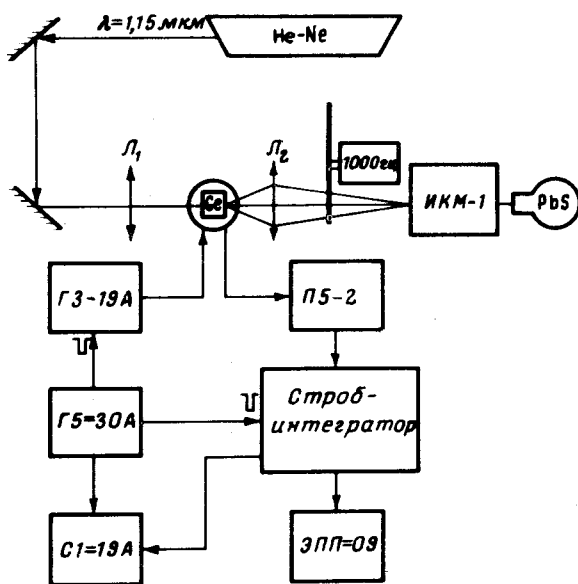


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

Наличие ЭДК в образце германия регистрировалось по рекомбинационному излучению. Возбуждение продольных акустических колебаний в образце германия осуществлялось с помощью тонкопленочного электроакустического преобразователя на основе CdS. Звук распространялся в германии в направлении $\langle 100 \rangle$. Для реализации эффективного взаимодействия звука с ЭДК неравновесные носители генерировались с помощью сфокусированного лазерного пучка непосредственно в области распространения звуковой волны (рис. 2, а). Измерение затухания

¹⁾ Действительно, интерпретация экспериментальных данных [4], приведенная в [5], возможна лишь при условии расщепления основного состояния экситона на $\sim 0,1$ мэв, в то время, как оно составляет $0,8 \div 1$ мэв. [6].

хания ультразвука производилось с помощью стандартной эхо-импульсной методики [7].

Экспериментально измерялось изменение затухания ультразвука ($\Delta\alpha$) в оптически возбужденном германии в сравнении с темновым затуханием. Для этого техникой строб-интегрирования выделялись отдельные эхо-импульсы (например, 15, 17, и 19; всего наблюдалось до 40 эхо-импульсов) и регистрировалось изменение их амплитуды с подсветкой.

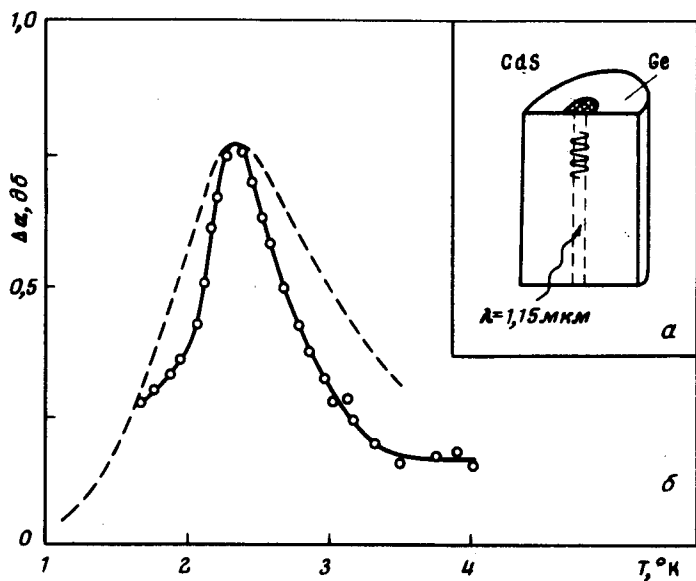


Рис. 2. а – Образец; б – температурная зависимость изменения затухания звука при оптической подсветке образца: штриховая линия – теоретически рассчитанная в [3], сплошная – экспериментальная кривая

Было обнаружено, что температурная зависимость $\Delta\alpha$ при оптической подсветке германия имеет явно выраженный резонансный характер (рис. 2, б). Максимум кривой расположен при $\sim 2,4\text{K}$. Ширина кривой $\sim 1\text{K}$. Появление обнаруженной зависимости связано с наличием ЭДК в образце, что определялось по возникновению линии излучения ЭДК. При смещении области возбуждения ЭДК в сторону от звукового канала на величину 1 – 1,5 мк (область локализации ЭДК) эффект исчезал. Мы полагаем, что резонансное поглощение звука в наших экспериментах связано с взаимодействием звука с ЭДК.

Теоретический расчет поглощения ультразвука ЭДК, представленный в [3] для случая однодолинного полупроводника, может быть использован для объяснения полученных нами результатов с учетом реально действующего потенциала деформации [8].

Рассчитанная в работе [3] зависимость поглощения ультразвука ЭДК для случая $\lambda_{зв} \gg R_{\text{капли}}$ ¹⁾ имеет следующий вид:

$$\Delta\alpha \sim \tilde{n} \frac{D^2}{\rho m S^5} \frac{\gamma \omega^2}{\gamma + \omega^2}, \quad (1)$$

где \tilde{n} – средняя плотность электронов и дырок в объеме, занимаемом жидкой фазой, m – эффективная масса, D – суммарный деформационный потенциал, S – скорость звука в кристалле, ρ – плотность германия, γ – величина, обратно пропорциональная τ – времени релаксации по импульсу капли, которое в свою очередь имеет сильную температурную зависимость (см. рис. 1 [3]). Подстановка в (1) численных значений ω и γ , взятых из эксперимента, дает кривую $\Delta\alpha(T)$, представленную на рис. 2, б.

Нужно заметить, что нами наблюдался также эффект изменения интенсивности рекомбинационного излучения (примерно на 25 – 30%) в условиях непрерывной генерации звука, что, по-видимому, связано с движением ЭДК и экситонов в поле ультразвуковой волны.

Авторы благодарны Л.В.Келдышу и С.Г.Тиходееву за дискуссию, В.И.Пустовойту за полезные советы, Б.Д.Копыловскому за помощь в создании методики.

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Всесоюзный
научно-исследовательский институт
физико-технических и
радиотехнических измерений

Поступила в редакцию
10 апреля 1975 г.

Литература

- [1] Л.В.Келдыш. Труды Междунар. конф. по физике полупроводников, М., 1968, стр. 1307; Сб. Экситоны в полупроводниках, М., изд. Наука, 1971.
- [2] Ya. E. Pokrovskii. Phys. St. Sol (a) 11, 385, 1972; V.S.Bagaev. Springer Tracts in Modern Physics, 73, 72, 1975. Springer – Verlag.
- [3] Л.В.Келдыш, С.Г.Тиходеев. Письма в ЖЭТФ, данный номер, стр. 582.
- [4] S.Wilson. J. Phys. C., Sol. St. Phys., 4, 2792, 1971.
- [5] S.Wilson. R.Hill. J. Phys. C., Sol. St. Phys., 4, 2799, 1971.
- [6] Е.Ф. Гросс, В.И.Сафаров, А.Н.Титков, И.С.Шлимак. Письма в ЖЭТФ, 13, 332, 1971.
- [7] Р.Труэлл, Ч.Эльбаум, Б.Чик. Ультразвуковые методы в физике твердого тела М., изд. Мир, 1972, стр. 45.

¹⁾ В эксперименте средний радиус капель был ~ 5 мкм [9].

[8] C. Benoit à la Guillaume, M. Voos. F. Salvan. Phys. Rev. B, 5, 3079, 1972.

[9] В. С. Багаев, Н. А. Пенин, Н. Н. Сибельдин, В. А. Цветков. ФТТ, 15, 3269, 1973.
