

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОЙ ЖИДКОСТИ В ГЕРМАНИИ

В.С.Багаев, Н.Н.Сибельдин, В.А.Цветков

Методом рассеяния света измерен коэффициент поверхностного натяжения электронно-дырочной жидкости в германии $\sigma = 1,6 \cdot 10^{-4}$ эрг/см².

Коэффициент поверхностного натяжения электронно-дырочной жидкости был вычислен в ряде работ [1 – 4], однако, до сих пор экспериментально не определялся. Мы оценили величину коэффициента поверхностного натяжения, измерив температурную зависимость концентрации электронно-дырочных капель (ЭДК).

Если образование зародышей жидкой фазы происходит в результате флуктуаций экситонной плотности, то вероятность возникновения зародыша "критического" радиуса R^* (т. е. зародыша находящегося в неустойчивом равновесии с экситонным газом) определяется формулой [5]:

$$W \sim \exp\left(-\frac{4\pi\sigma R^{*2}}{3kT}\right). \quad (1)$$

Когда фазовый переход пар – жидкость начинается при заданной плотности пара, которая поддерживается неизменной при изменении температуры,

$$R^* = \frac{2\sigma}{n_0 \epsilon_0 \ln(T_0/T)}, \quad (2)$$

где n_0 – концентрация носителей в ЭДК, ϵ_0 – энергия связи на пару частиц в капле, отсчитанная от экситонного уровня, и T_0 – порого-

вая температура при данной скорости генерации. Подставляя (2) в (1) получим

$$W \sim \exp \left[- \frac{16\pi\sigma^3}{3n_0^2 \epsilon_0^2 kT \ln^2(T_0/T)} \right]. \quad (3)$$

Можно предположить, что концентрация ЭДК в кристалле прямопропорциональна вероятности образования зародышей "критического" размера; поэтому, измерив температурную зависимость концентрации капель и воспользовавшись выражением (3), можно найти коэффициент поверхностного натяжения.

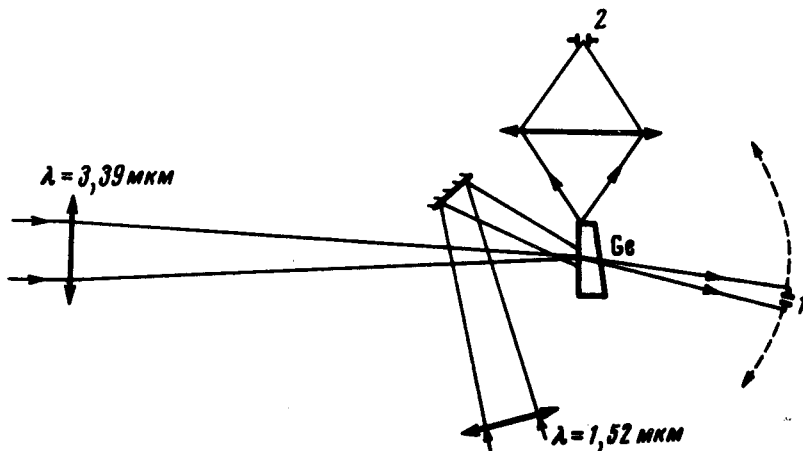


Рис.1. Схема эксперимента: 1 – Входная диафрагма квантового усилителя. 2 – Щель монохроматора

Измерения были выполнены на установке, подробно описанной в [6]. Источником возбуждения служил гелий-неоновый лазер мощностью 12 мвт, работающий на длине волны 1,52 мкм. Возбуждающее излучение модулировалось с частотой 1 кГц и фокусировалось на переднюю грань образца в пятно диаметром $\sim 0,35$ мм (рис. 1). В экспериментах использовались возбуждающие импульсы с длительностью фронта меньшей 3 мксек. Исследовалось рассеяние излучения гелий-неонового лазера, работающего на длине волны 3,39 мкм. Луч этого лазера фокусировался на образец в пятно диаметром $\sim 0,3$ мм так, чтобы пучки обоих лазеров были совмещены. Из-за близости диаметров пучков требуется особенно тщательное их совмещение, так как в противном случае наблюдается дифракция на краю области возбуждения [7], которая затрудняет количественные измерения. Свет, рассеянный ЭДК, усиливался оптическим квантовым усилителем на смеси гелий-неон и регистрировался приемником из РbS, охлажденным до температуры ~ 100 К.

Угловое распределение интенсивности рассеянного света записывалось автоматически. Измерения проводились на образцах германия с концентрацией остаточных примесей не большей 10^{12} см $^{-3}$.

Концентрация ЭДК вычислялась из данных, полученных при измерении интенсивности рассеянного света, так же, как это делалось в работе [8]. Кроме этого, концентрация ЭДК определялась по интенсивности линии капельной люминесценции, которая наблюдалась одновременно с рассеянием. Так как интенсивность линии рекомбинационного излучения ЭДК прямо пропорциональна объему жидкой фазы, то, определив радиус капель по угловому распределению интенсивности рассеянного света, можно найти концентрацию ЭДК в относительных единицах.

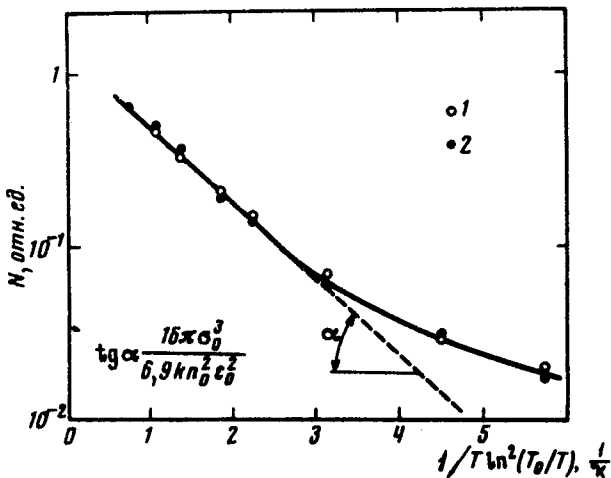


Рис.2. График зависимости концентрации ЭДК от $1/[\ln T_0/T]^2 T$ (Пороговая температура $T_0 = 4,4$ К):
1 – рекомбинационное излучение, 2 – рассеяние

На рис. 2 приведена зависимость концентрации ЭДК, полученная из данных по рассеянию и рекомбинационному излучению, от $1/[\ln T_0/T]^2 T$. Из графика видно, что при низких температурах экспериментальные точки хорошо укладываются на прямую линию. Как следует из выражения (3), по наклону этой прямой можно найти коэффициент поверхностного натяжения. Если взять $\epsilon_0 = 2,1$ мэв, $n_0 = 2 \cdot 10^{17}$ см $^{-3}$, то получим $\sigma = 1,6 \cdot 10^{-4}$ эрг/см 2 . Теоретические расчеты [1 – 4] дают для σ значения, лежащие в пределах от $0,8 \cdot 10^{-4}$ до $1,5 \cdot 10^{-4}$ эрг/см 2 . Следует отметить, что определяемая экспериментально пороговая температура, по-видимому, меньше, чем истинная термодинамически равновесная. Конечное время нарастания концентрации экситонов при включении освещения также вносит погрешность при определении σ . Предположение о пропорциональности между W и N достаточно строго нами не обосновано. Однако, разумное согласие оцененной нами величины σ с теоретическими вычислениями позволяет надеяться, что эта величина не далека от истинной.

Из полученных данных можно сделать вывод, что в условиях нашего эксперимента при температурах ниже ~ 3 К работает, по-видимому, флуктуационный механизм образования зародышей жидкой фазы. При более высоких температурах, когда вероятность образования "критических" зародышей, определяемая формулой (3), сильно уменьшается, концентрация ЭДК определяется числом центров конденсации.

В заключение отметим, что наблюдаемая температурная зависимость концентрации ЭДК, позволяет объяснить, обнаруженное в [9], увеличение размера капель с ростом температуры. Дальнейшие исследования зависимостей размеров и концентрации ЭДК от условий эксперимента дали возможность проследить кинетику роста ЭДК и ее зависимость от условия их зарождения [10].

Мы глубоко признательны Л.В.Келдышу за многочисленные обсуждения и Н.В.Замковец за помощь при проведении экспериментов.

Поступила в редакцию
17 декабря 1974 г.

Литература

- [1] T.M.Rice. Phys. Rev., B9, 1540, 1974.
 - [2] L.M.Sander. H.B.Shore. L.J.Sham. Phys. Rev. Lett., 31, 533, 1973.
 - [3] H.Biittner, E.Gerlach. J. Phys. C: Solid St. Phys., 6, 433, 1973.
 - [4] T.L.Reinecke, S.C.Ying. Solid St. Comm., 14, 381, 1974.
 - [5] Я.И.Френкель. Кинетическая теория жидкостей. Изд. АН СССР, М., 1945.
 - [6] В.С.Багаев, Н.В.Замковец, Н.А.Пенин, Н.Н.Сибельдин, В.А.Цветков. ПТЭ, №2, 258, 1974.
 - [7] Н.Н.Сибельдин, В.С.Багаев, В.А.Цветков, Н.А.Пенин. Препринт ФИАН №117, М., 1972.
 - [8] Н.Н.Сибельдин, В.С.Багаев, В.А.Цветков, Н.А.Пенин. ФТТ, 15, 177, 1973.
 - [9] В.С.Багаев, Н.А.Пенин, Н.Н.Сибельдин, В.А.Цветков. ФТТ, 15, 3269, 1973.
 - [10] В.С.Багаев, Н.В.Замковец, Л.В.Келдыш, Н.Н.Сибельдин, В.А.Цветков. ЖЭТФ, в печати.
-