

НАБЛЮДЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫХ
КАПЕЛЬ В ПОЛЕ НЕОДНОРОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

А. С. Алексеев, В. С. Багаев,
Т. И. Галкина, А. Б. Фрадков

УДК 537.311.33

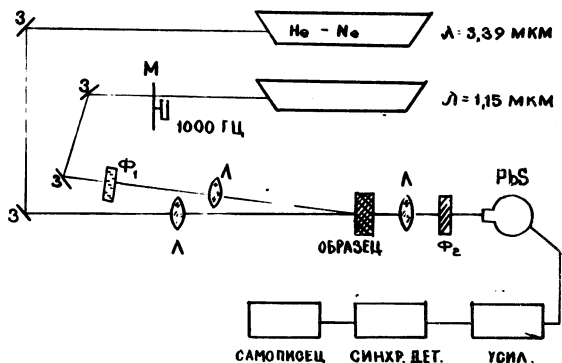
Сообщается о непосредственном наблюдении движения ЭДК на макроскопические расстояния в германии. В эксперименте использовано поглощение излучения He-Ne лазера с $\lambda = 3,39$ мкм электронно-дырочными каплями.

Теоретически обосновав возможность существования в полупроводниках электронно-дырочных капель (ЭДК), Л. В. Келдыш в числе возможных и наиболее интересных свойств указывал на высокую подвижность этих образований в неоднородных деформационных, электрических и магнитных полях /1/.

Исследования влияния одноосной деформации на спектры рекомбинационного излучения чистого германия позволили обнаружить немонотонный характер изменения с давлением положения линии ξ_K излучения ЭДК /2/. В работе /3/ было показано, что для различных кристаллографических направлений существует различная величина критического давления $P_{кр}$, вплоть до которого положение ξ_K не зависит от P . Величина $P_{кр}$ определяется суммарным расщеплением вырожденной валентной зоны Ge и относительным смещением четырех долин абсолютного минимума зоны проводимости. Здесь же было замечено, что при отклонениях от однородности деформации образца зависимость $\xi_K(P)$ при $P > P_{кр}$ существенно отличалась от аналогичной зависимости для случая однородной деформации. Предполагалось, что такое отличие связано с движением ЭДК в поле неоднородной деформации.

Для более тщательного исследования этого явления была проведена работа /4/, в которой измерялось положение линии ξ_{\dots} излучения ЭДК и линии ξ_3 излучения свободных экситонов при приложении одноосной деформации к образцам специальной формы с заданным гра-

диентом деформации. Исследованы зависимости ξ_K и ξ_S от температуры, величины приложенного давления и положения области генерации неравновесных носителей на образце.



Р и с. I. Схема экспериментальной установки. З - поворотные зеркала; Л - кварцевые линзы; Φ_1 - водный фильтр; Φ_2 - германиевый фильтр

Было показано, что зависимость $\xi_K(P)$ при $P > P_{кр}$, полученная при освещении сечения В образца, имела больший наклон, чем та же зависимость для сечения А. При пересчете величин давления в сечении В на сечение А образцы зависимости $\xi_K(P)$ практически совпадали. Это означало, что капли под влиянием градиента деформации перемещались из верхней части образца в среднюю.

Настоящая работа была проведена с целью прямого наблюдения движения электронно-дырочных капель в поле неоднородной одноосной деформации, возникающей при приложении давления к образцам указанной выше формы.

Схема эксперимента представлена на рис. I. Излучение He-Ne лазера с длиной волны $1,15 \text{ мкм}$ мощностью $\sim 40 \text{ мвт}$ модулировалось с частотой 1000 гц и фокусировалось на образец. Это излучение генерировало неравновесные электроны и дырки. Немодулированный зондирующий луч второго лазера с длиной волны $3,39 \text{ мкм}$ мощностью $\sim 8 \text{ мвт}$ проходил сквозь образец Ge и попадал на приемник излучения PbS. Сигнал с приемника регистрировался обычной регистрирующей системой и записывался на самописец.

Рекombинационное излучение, возникающее в образце, отфильтровывалось германиевым фильтром, который помещался перед приемником PbS.

Измерения проводились при температурах до $1,8^{\circ}\text{K}$ в специальном металлическом гелиевом криостате (индекс ФИАН-КР-28) с оптическими окнами из плавленого кварца при гелиевой и комнатной температурах (рис.2).

Гелиевая и азотная ванна, а также экраны, были выполнены из меди; трубы подвески - из нержавеющей стали.

Теплоизоляцией криостату служил высокий вакуум с экраном от излучения, охлаждаемый жидким азотом, как это и принято в обычных конструкциях /7/. Отличительной особенностью криостата являлось наличие двух гелиевых ванн - внутренней, куда помещались исследуемые образцы, и наружной, вспомогательной. Такое устройство позволяло уменьшить притоки тепла в рабочую зону криостата в основном за счет испарения жидкого гелия из наружной ванны и этим резко уменьшить образование во внутренней ванне газовых пузырей, мешавших оптическим измерениям.

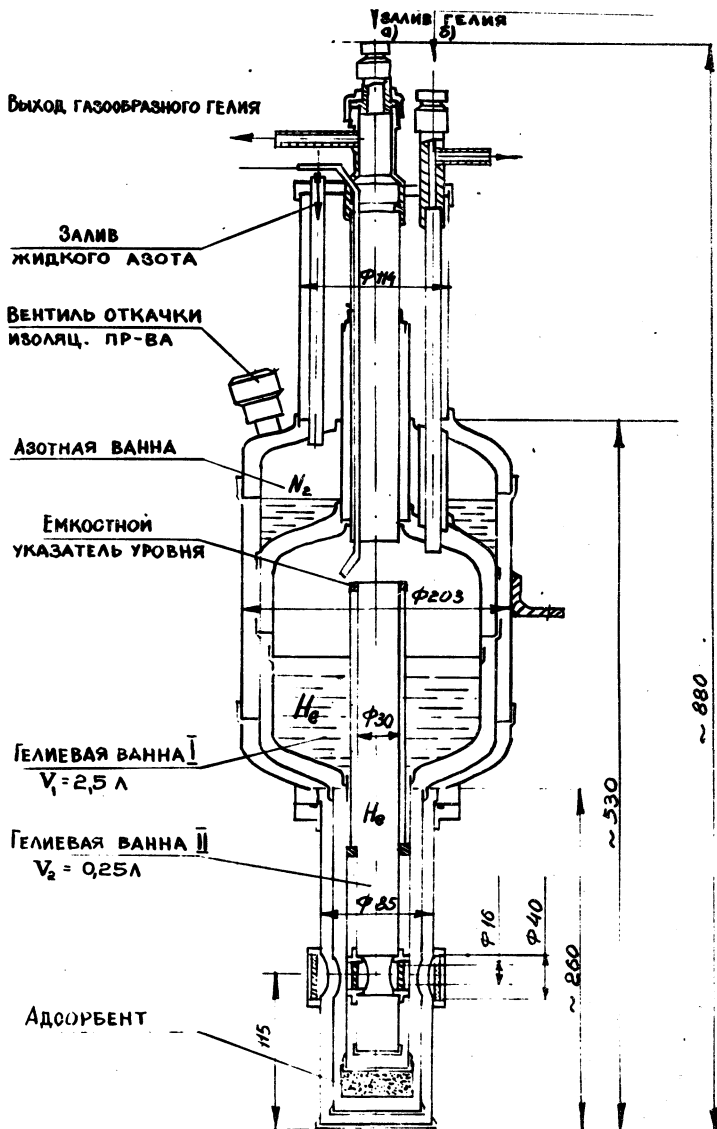
Хладагент в каждую из ванн мог заливаться независимо, что позволяло вести опыты не только в жидкости, но и в парах. Криостат имел емкостной измеритель уровня гелия в наружной ванне. Средняя испаряемость жидкого гелия составляла $90 + 100 \text{ см}^3/\text{час}$. При подводимой к образцу мощности $\sim 40 \text{ мвт}$ гелий в камере для образца держался $6 + 7$ часов.

Давление к образцу прикладывалось с помощью рычажной системы.

Измерения проводились на образцах Ge с концентрацией остаточных примесей менее 10^{12} см^{-3} . Образцы были ориентированы в направлении $\langle 110 \rangle$. С целью улучшения условий прохождения зондирующего луча через образец, передняя и задняя грани его полировались.

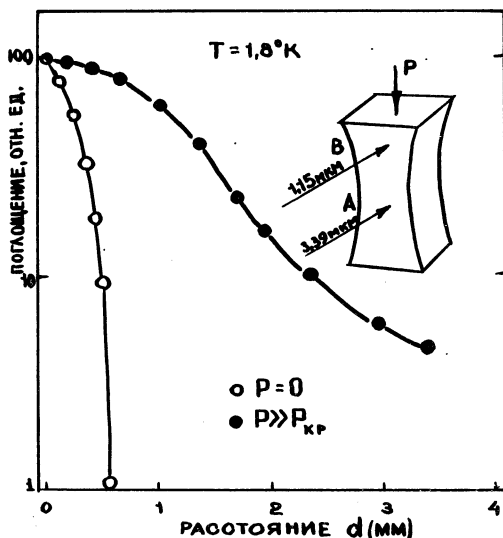
Измерялось изменение пропускания лазерного луча с $\lambda = 3,39 \text{ мкм}$, которое при низких температурах практически равно поглощению носителями, связанными в ЭДК /5,6/.

На рис. 3 представлена зависимость изменения сигнала поглощения от расстояния d между зондирующим лучом и областью генерации неравновесных носителей на образце при давлении $P \gg P_{кр}$.



Р и с. 2. Криостат КР-28

т.е. когда электронно-дырочные капли под действием градиента деформации должны перемещаться из области генерации в область наибольшей деформации образца (сечение А) /4/. В процессе экспери-



Р и с. 3. Зависимость поглощения излучения лазера с $\lambda = 3,39$ мкм от расстояния d между областью генерации и зондирующим лучом

мента возбуждающий луч с $\lambda = 1,15$ мкм перемещался из сечения А, где проходил зондирующий луч, к сечению В.

На том же рисунке представлена аналогичная зависимость в отсутствии давления. Видно, что сигнал поглощения спадает очень резко и при $d_{P=0} \sim 0,6$ мм практически равен нулю.

Величина $d_{P=0}$ в данном случае, по-видимому, определяется размерами пучков возбуждающего и зондирующего лучей (≈ 200 и 300 мкм соответственно), а также эффективными размерами диффузионного облака генерируемых экситонов, конденсировавшихся в ЭДК.

При приложении же давления $P \gg P_{кр}$ при малых значениях d большая часть ЭДК успевает "добежать" до области наибольших деформаций (сечение А) и попасть в сечение зондирующего пучка. Из рисунка видно, что сигнал поглощения изменяется слабо.

Однако с увеличением d все меньшая часть капель попадает в сечение зондирующего пучка, доходя до области наибольших деформаций. Значительное уменьшение сигнала поглощения связано не только с "испарением" ЭДК и рекомбинацией носителей в них во время движения, но и с "убеганием" капель из области генерации в различные участки сечения А образца.

Такое представление находится в хорошем согласии с данными работы /4/ об изменении интенсивности рекомбинационного излучения ЭДК в условиях одноосной неоднородной деформации образца. Кроме того, неоднородность деформации по сечению А образца, возникающая при давлениях $P \gg P_{кр}$ (определенная по изменению полуширины линии рекомбинационного излучения ЭДК /4/), также может способствовать "убеганию" капель из области генерации в различные участки среднего сечения образца.

Таким образом, проведенный эксперимент наглядно продемонстрировал движение ЭДК на макроскопические расстояния в поле неоднородной одноосной деформации.

Авторы благодарны Г. И. Всемирному за помощь в эксперименте и Н. Н. Сибельдину за полезные советы.

Поступила в редакцию
12 июля 1974 г.

Л и т е р а т у р а

1. Л. В. Келдыш. Сб. "Экситоны в полупроводниках", изд. "Наука", Москва, 1971 г., стр. 5.
2. В. С. Багаев, Т. И. Галкина, О. В. Гоголин, Л. В. Келдыш. Письма в ЖЭТФ, 10, 309 (1969).
3. В. С. Багаев, Т. И. Галкина, О. В. Гоголин. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 2, 42 (1970).
4. А. С. Алексеев, В. С. Багаев, Т. И. Галкина. ЖЭТФ, 63, Ю20 (1972).
5. Я. Е. Покровский, К. И. Свистунова. Письма ЖЭТФ, 13, 297 (1971).
6. Н. Н. Сибельдин, В. С. Багаев, В. А. Цветков, Н. А. Пенин. ФТТ, 15, 177 (1973).
7. Справочник по физико-техническим основам криогеники. Москва, 1973 г.