

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ ЗАРЯД ЭЛЕКТРОН-ДЫРОЧНЫХ КАПЕЛЬ В ГЕРМАНИИ

Я.Е.Покровский, К.И.Свистунова

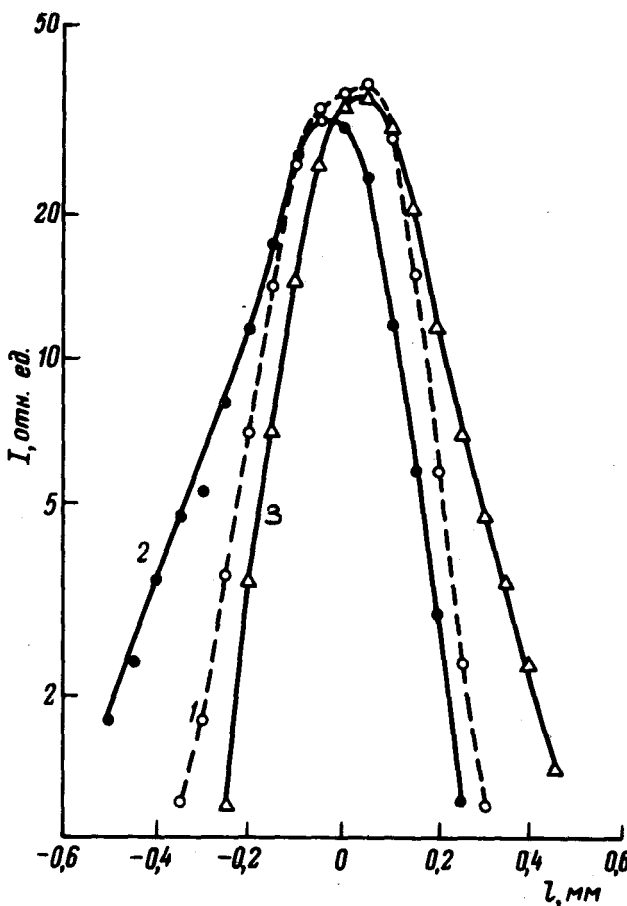
Обнаружен дрейф электрон-дырочных капель в германии в слабом электрическом поле, который объяснен существованием отрицательного электрического заряда у капель.

При рассмотрении свойств конденсированной фазы неравновесных носителей заряда в полупроводниках [1] предполагалось, что капли состоят из электрон-дырочной плазмы, причем число электронов и дырок в каплях одинаково и капли в целом электрически нейтральны. Такое предположение не является, однако, очевидным, так как энергия связи электронов и дырок в конденсированной фазе может быть различной. Приближенный расчет (частное сообщение)¹⁾ показывает, что в случае германия энергия связи электронов превышает на $\approx 0,5$ мэв энергию связи дырок. Поэтому эмиссия дырок из капель будет преобладать до тех пор, пока отрицательный заряд капель не станет достаточным для выравнивания скорости эмиссии электронов и дырок. При непрерывном возбуждении кристалла в области возбуждения существуют свободные электроны и дырки, не связанные в экситоны, которые экранируют заряд капель. Согласно частному сообщению Т.М.Рисе, при концентрации свободных носителей заряда $\approx 4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ (что соответствует скорости возбуждения $10^{20} - 10^{21} \text{ см}^{-3} \cdot \text{сек}^{-1}$) стационарный заряд капель радиуса $R = 5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ должен достигать величины $\approx 500 e$, где e – заряд электрона.

Электрический заряд электрон-дырочных капель удалось обнаружить по дрейфовому смещению капель в слабых электрических полях. Образец чистого германия размером $11 \times 5 \times 0,5 \text{ мм}^3$ квазистационарно возбуждался излучением гелий-неонового лазера с длиной волны $1,15 \text{ мкм}$ и мощностью до 10 мвт , сфокусированным на поверхность образца в виде полоски шириной $0,1 \text{ мм}$. Увеличенное изображение поверхности образца, находившегося в сверхтекучем жидком гелии, фокусировалось подвижным объективом на входную щель спектрометра МДР-2, настроенного на рекомбинационное излучение конденсированной фазы. Перемещение объектива в направлении, перпендикулярном щели спектрометра позволяло определять пространственное распределение интенсивности этого излучения [2]. На торцы образца через вплавные индиевые контакты можно было подавать постоянное напряжение. Интенсивность излучения электрон-дырочных капель регистрировалась при каждом положении подвижного объектива для обеих полярностей приложенного напряжения, а также в отсутствие электрического поля в образце.

¹⁾ Частное сообщение Т.М.Рисе.

На рисунке приведено пространственное распределение излучения электрон-дырочных капель в образце в отсутствие поля и при напряженности поля $E = 2,5$ в/см разной полярности. Из рисунка видно, что в электрическом поле распределение интенсивности излучения всегда смещается к аноду относительно центра области возбуждения независимо от полярности приложенного напряжения. Мы полагаем, что это смещение обусловлено отрицательным электрическим зарядом электрон-дырочных капель. Величина дрейфового смещения возрастала при увеличении напряженности поля и достигала максимума при $E \approx 3$ в/см. Дальнейшее увеличение поля приводило к резкому возрастанию тока через образец и падению интенсивности излучения электрон-дырочных капель [3].



Зависимость интенсивности рекомбинационного излучения электрон-дырочных капель I от расстояния до центра области возбуждения l при 2°K : 1 – электрическое поле $E = 0$; 2 – $E = 2,5$ в/см, анод слева; 3 – $E = 2,5$ в/см, анод справа

Из рисунка видно также, что при достаточно больших расстояниях интенсивность рекомбинационного излучения падает приблизительно экспоненциально. Определенная отсюда характерная длина дрейфового смещения капель $L_d \approx 1,5 \cdot 10^{-2}$ см. Используя соотношение $L_d = E\mu\tau_0$ и значение времени жизни конденсированной фазы $\tau_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ сек [1], можно, вообще говоря, вычислить подвижность электрон-дырочных капель μ . Однако, в области возбуждения концентрация свободных носи-

телей заряда существенно выше, и поэтому E существенно ниже, чем в остальной части образца. Если считать поле E однородным, то можно оценить лишь нижний предел подвижности капель $\mu \geq 300 \text{ см}^2 \cdot \text{в}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}$. Такое значение подвижности представляется разумным. Действительно, $\mu = Qe\tau_p / (m_e + m_h)N$, где Qe — электрический заряд капли, m_e , m_h — эффективные массы электронов и дырок, N — число электрон-дырочных пар в капле, τ_p — время релаксации импульса капли. Полагая $R = 5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$, что соответствует $N = 10^8$ [1], $m_e + m_h = 5 \cdot 10^{-28} \text{ в}$, $\tau_p = 10^{-7}$ [4,5], получаем $Qe = 10^2 e$, что по порядку величины согласуется с частным сообщением Т. М. Rice.

Существование отрицательного электрического заряда у электрон-дырочных капель в германии позволяет объяснить некоторые экспериментальные факты. Так, при увеличении уровня локального возбуждения мы наблюдали существенное расширение области, из которой происходило излучение электрон-дырочных капель. Такое уширение представляется естественным для заряженных капель из-за их электростатического отталкивания. По-видимому, различие в величинах коэффициента диффузии капель, определенных при разных уровнях возбуждения [2, 6], связано с таким уширением. Взаимным электростатическим отталкиванием капель можно объяснить и наши неудачные попытки получить электрон-дырочные капли макроскопического объема ($\approx 10^{-3} \text{ см}^3$) при интенсивном локальном возбуждении кристаллов германия. Возможно также, что взаимодействие с электростатическим потенциалом заряженных капель приводит к увеличению ангармонизма плазменных колебаний и объясняет большую ширину полос плазменного поглощения и излучения в далекой инфракрасной области [7].

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
19 ноября 1973 г.

Литература

- [1] Я.Е.Покровский, К.И.Свистунова. ФТП, 4, 491, 1970.
- [2] Я.Е.Покровский, К.И.Свистунова. ФТТ, 13, 1485, 1971.
- [3] Я.Е.Покровский, К.И.Свистунова. Письма в ЖЭТФ, 9, 435, 1969.
- [4] В.С.Багаев, Т.И.Галкина, О.В.Гоголин, Л.В.Келдыш. Письма в ЖЭТФ, 10, 309, 1969.
- [5] А.С.Алексеев, В.С.Багаев, Т.И.Галкина. ЖЭТФ, 63, 1020, 1972.
- [6] C. Benoit a la Guillaume, M. Voos, F. Salvan. Phys. Rev. Lett., 27, 1214, 1971.
- [7] В.С.Вавилов, В.А.Заяц, В.Н.Мурзин. Письма в ЖЭТФ, 10, 304, 1969.