

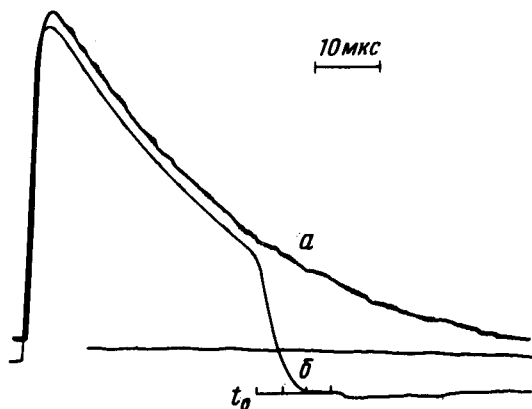
ВЛИЯНИЕ СВЧ ПРОБОЯ ЭКСИТОНОВ В ГЕРМАНИИ НА КИНЕТИКУ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫХ КАПЕЛЬ

А.А.Маненков, С.П.Смолин

Обнаружено резкое укорочение кинетики люминесценции ЭДК вследствие СВЧ пробоя экситонов при $T = 1,3\text{ К}$. Эффект объясняется влиянием на ЭДК фоновонного ветра, генерируемого горячими носителями во время пробоя экситонов

В работах [1,2] исследовалось явление СВЧ пробоя экситонов в германии в присутствии электронно-дырочных капель (ЭДК). При дальнейшем изучении этого явления обнаружилось сильное влияние пробоя на кинетику ЭДК. Эксперимент проводился на установке, аналогичной описанной в [2] с добавлением регистрации люминесценции быстродействующим детектором. Образцы чистого германия (концентрация остаточных примесей 10^{11} см^{-3}) размером $3 \times 3 \times 0,5\text{ мм}^3$ помещались в максимум электрического поля прямоугольного СВЧ резонатора типа H_{102} параллельно вектору электрического поля. В качестве источника СВЧ использовался магнетрон с длиной волны 3 см и мощностью 3 вт .

Возбуждение электронно-дырочных пар осуществлялось светом неон-гелиевого лазера с длиной волны $1,15\text{ мкм}$, проходящим через прерыватель, помещенный в фокусе линзы. Длительность импульса накачки составляла 150 мксек при длительности фронтов 1 мксек . Мощность падающего на образец света была около 20 мвт , размер области засветки 3 мм . Эксперименты проводились при температуре $1,3\text{ К}$.



Запись сигнала люминесценции ЭДК без пробоя экситонов (а) и при наличии пробоя (б), t_0 — момент пробоя

Основным результатом настоящей работы является наблюдение резкого изменения кинетики люминесценции ЭДК в момент пробоя экситонов типа излома кривой с последующим спадом люминесценции до нуля в течение нескольких микросекунд (рисунок). Важно отметить, что вся послепробойная кинетика определяется моментом пробоя, а не действием СВЧ поля после пробоя. Длительность действия СВЧ поля после пробоя никак не отражается на этой картине. Отметим далее,

что повышение уровня СВЧ мощности над порогом пробоя в 100 раз не дает заметного изменения кинетики процесса.

Приведенные факты можно объяснить, если принять во внимание действие на ЭДК потока фононов, рождаемых "горячими" носителями во время пробоя. Этот поток является достаточно мощным, чтобы увлечь все ЭДК со скоростью, близкой к скорости звука к поверхности образца, где, как известно, происходит быстрая рекомбинация носителей.

Сделаем оценки. Средний поток энергии фононов w вблизи поверхности образца равен P/S , где P — поглощаемая в процессе пробоя СВЧ мощность, S — площадь поверхности образца. В нашем случае вблизи порога $P \sim 10^{-2}$ вт (экспериментальная и теоретическая оценка (см. [2])) $S \approx 0,3$ см², отсюда $w \sim 3 \cdot 10^5$ эрг/сек · см². Оценим теперь средний волновой вектор фонона. Как известно, излучаемые электронами акустические фононы имеют импульсы того же порядка величины, что и импульсы самих электронов. Энергия горячих электронов в пробойных полях $\epsilon_e \sim 10$ К [2]. Отсюда находим $\bar{k} \sim \sqrt{2m\epsilon_e/\hbar} \sim 5 \cdot 10^5$ см⁻¹, что меньше удвоенного фермиевского волнового вектора электрона в капле $k_0 = \pi(3n_0/\pi)^{1/3} \approx 2 \cdot 10^6$ см⁻¹, где $n_0 = 2 \cdot 10^{17}$ см⁻³ — плотность носителей в ЭДК. Такие фононы эффективно поглощаются каплей, передавая ей свой импульс. Сила их действия на каплю дается формулой [3]:

$$F_{\Phi} = \frac{d^2 m^2 \bar{k} n_K w}{8 \pi \hbar^3 \rho s^2},$$

где $d \approx 4$ эв — деформационный потенциал; $m \approx 3 \cdot 10^{-28}$ г — средняя эффективная масса носителей в капле, $\rho \approx 5$ г/см³ — плотность германия; $s \approx 5 \cdot 10^5$ см/сек — скорость звука в германии, n_K — число носителей в капле.

Сила трения, испытываемая ЭДК при движении со скоростью v_K , равна

$$F_{\text{Тр}} = \frac{m n_K v_K}{\tau_p},$$

где $\tau_p \sim 10^8$ сек — время релаксации капли по импульсу [3]. Приравняв F_{Φ} и $F_{\text{Тр}}$, мы найдем скорость движения v_K . Однако, если это сделать, то получится величина $\sim 10^8$ см/сек. При таких скоростях, формула для F_{Φ} теряет смысл, поскольку поток фононов уже не будет ускоряющим для капли, а наоборот — замедляющим. Поэтому, ясно, что все ЭДК приобретают под действием фононного ветра такой силы скорости, близкие к звуковой. Достигнув поверхности образца, ЭДК, по-видимому, залипают на ней из-за наличия поверхностных уровней, лежащих ниже дна зоны проводимости, и быстро рекомбинируют там.

В заключение мы хотим упомянуть о проведенном нами эксперименте, когда образец помещался в пучность магнитного поля резонатора. В этом случае мы ожидали ускорения кинетики ЭДК из-за нагрева их токами Фуко и испарения экситонов. Однако в СВЧ полях, напряженнос-

тью до одного гаусса заметного влияния поглощения СВЧ мощности на кинетику люминесценции ЭДК обнаружено не было. К сожалению, большая неопределенность величин, от которых зависит нагрев ЭДК СВЧ полем-проводимости, теплового контакта с решеткой, размеров ЭДК не позволяет сделать надежной оценки этого эффекта. Максимальное значение поля ограничивалось пробоем экситонов из-за наличия электрической компоненты в месте расположения образца.

Авторы пользуются случаем выразить благодарность Л.В.Келдышу за помощь в интерпретации результатов экспериментов.

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

Поступила в редакцию
31 марта 1977 г.

Литература

- [1] А.А.Маненков, В.А.Миляев, Г.Н.Михайлова, С.П.Смолин. Письма в ЖЭТФ, **16**, 454, 1972.
 - [2] Л.В.Келдыш, А.А.Маненков, В.А.Миляев, Г.Н.Михайлова. ЖЭТФ, **66**, 2178, 1974.
 - [3] В.С.Багаев, Л.В.Келдыш, Н.Н.Сибельдин, В.А.Цветков. ЖЭТФ, **70**, 702, 1976.
-