

06.1; 07; 12

© 1991

ГИСТЕРЕЗИС ИНТЕНСИВНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ГЕРМАНИЯ ВО ВНЕШНЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

В.М. А с н и н, А.М. К р ю к о в,
И.И. М а р к о в, В.И. С т е п а н о в

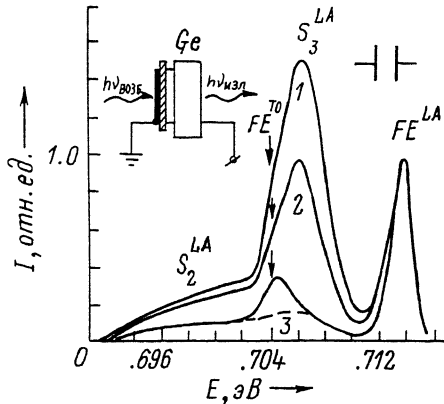
В работах [1, 2] были исследованы новые линии излучения, связанные с границей раздела Ge -оксид германия и показано, что одна из них (S_3 -линия) обусловлена новой поверхностной электронно-дырочной жидкостью (ПЭДЖ), термодинамические характеристики которой существенно отличаются от таковых для объемной ЭДЖ из-за взаимодействия с поверхностью полупроводника. Природа S_3 -линии была подтверждена также измерениями фазовой диаграммы экситонный газ - ПЭДЖ, выполненными в [2].

В настоящей работе обнаружено гистерезисное поведение интенсивности излучения ПЭДЖ, индуцированное внешним электрическим полем, приложенным к межфазной границе Ge -оксид германия.

Такая граница формировалась на $\langle 100 \rangle$ кристаллографической плоскости плоскопараллельной пластины чистого Ge ($N_D + N_A \leq 10^{11} \text{ см}^{-3}$) в химической ячейке специальной конструкции и по методике, подробно описанной в [1]. В качестве электролита использовался водный раствор 1 M HNO_3 . На внешнюю поверхность слюдяной пластины, являющейся одной из стенок плоскопараллельной химической ячейки (рис. 1) предварительно наносился полупрозрачный электрод из золота. Электрическое поле от внешнего источника прикладывалось между этим электродом и пластиной германия (рис. 1). Общая толщина слюдяной пластины и слоя оксида составляла 10–20 мкм. Фотовозбуждение межфазной границы проводилось через полупрозрачный электрод, а регистрация излучения с противоположной стороны пластины.

На рис. 1 показаны спектры излучения границы раздела Ge -оксид германия при $T=4,2 \text{ K}$ при различных напряжениях, приложенных к структуре. Видно, что приложение напряжения к межфазной границе слабо влияет на интенсивность экситонной и S_2 -линий (имеющей двумерную природу [1, 3]), но может приводить к сильнейшему гашению S_3 -линии в достаточно большом поле. Рис. 2 демонстрирует наблюдаемые для разных образцов характерные зависимости интенсивности S_3 -линии от величины и знака разности потенциалов, приложенных к структуре. Общей и наиболее интересной особенностью поведения S_3 -линии, является наличие гистерезиса ее интенсивности в зависимости от электрического поля. Как видно из данных рис. 2, первоначальное приложение напряжения

Рис. 1. Спектры фототолуминесценции межфазной границы германий-оксид германия при $T=4.2$ К и разных напряжениях, приложенных к структуре U ($\text{В}\cdot\text{см}^{-1}$): 1 - 0, 2 - 400, 3 - 700. $FE^{LA, TO}$ - фононные повторения линии свободного экситона. Пунктиром показан результат разделения S_3^{LA} - и FE^{TO} -линий. На вставке показана геометрия опыта.



приводит к необратимому гашению S_3 -линии и переводит систему в новое более устойчивое состояние, характеризующееся нижней ветвью на рис. 2. Это состояние, однако, является метастабильным и, находясь в нем, система медленно, с постоянной времени ~ 1 час, релаксирует в сторону верхней ветви (как это показано вертикальными стрелками на рис. 2). В ряде образцов наблюдается более яркое проявление существования „памяти”. В структурах, где удавалось достичь полного гашения S_3 -линии (в диапазоне напряжения до -700 В), ее невозможно было восстановить в спектре излучения ни с помощью изменения внешнего напряжения, ни значительно увеличивая уровень возбуждения. При этом „память” может сохраняться в течение нескольких часов.

Важно отметить, что форма S_3 -линии и ее положение в спектре практически не зависят от величины приложенного к структуре напряжения (рис. 1). Остается неизменным также (с точностью до 10 %) положение фазовой границы экситоны-ПЭДЖ, как показали измерения порога появления S_3 -линии во внешнем поле по методике, предложенной в [2]. Это означает, что наблюдаемые явления связаны с изменением состояния межфазной границы. При высокой плотности поверхностных состояний ($N_s \approx 10^{13} \text{ см}^{-2}$), характерной для исследуемой границы Ge-оксид Ge [4], внешнее поле, как известно, приводит к их эффективной перезарядке и слабо влияет на приповерхностный изгиб зон. Появление „памяти” в структуре в таком случае естественно связать с накоплением части поверхностного заряда (отрицательного для наших структур) на медленных поверхностных состояниях, локализованных в слое оксида. При гелиевых температурах такой заряд может существовать длительное время и после снятия напряжения со структуры. При этом заряд, „встроенный” в оксид в условиях фотовозбуждения, будет компенсироваться обратным по знаку зарядом, захваченным на быстрые поверхностные центры.

В условиях локализации заряда на поверхностных центрах наиболее вероятным механизмом гашения S_3 -линии является разру-

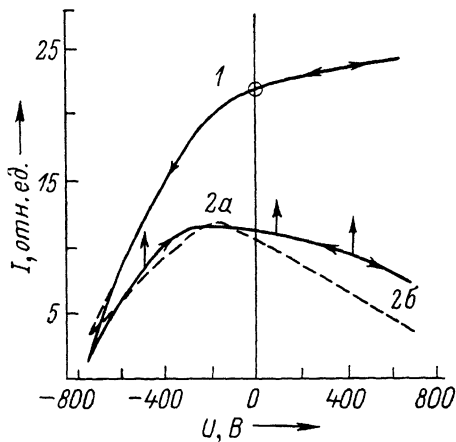


Рис. 2. Зависимость интенсивности S_3 -линии от напряжения, приложенного к структуре при $T=4.2$ К. Кружком отмечено исходное значение интенсивности S_3 -линии. Стрелки на кривых показывают направление изменения напряжения. 1 - исходная ветвь гистерезиса, 2а и 2б - разные варианты метастабильных ветвей. Вертикальные стрелки показывают направление временного дрейфа метастабильной ветви.

шение ПЭДЖ флуктуациями электрического поля вблизи поверхности, обусловленные флуктуациями поверхностного заряда. Действительно, среднеквадратичная флуктуация заряда на поверхности размером πR_0^2 , где $R_0 \approx 10^{-5}$ см - радиус капель ПЭДЖ [2], $\delta Q = e \sqrt{\pi R_0^2 N_S}$ создает флуктуации электрического поля вблизи поверхности $\delta E \approx \frac{4\delta Q}{\epsilon R^2} = \frac{4e}{\epsilon} \sqrt{\frac{\pi N_S}{R_0^2}}$; при плотности поверхностного заряда $N_S \approx 10^{12}$ см $^{-2}$, $\delta E \approx 10^4$ В·см $^{-1}$. При энергии связи электронно-дырочных пар в ПЭДЖ, 3.6 мэВ такое поле будет приводить к эффективной эмиссии частиц из капель и разрушению ПЭДЖ.

Детальный ход кривых $I(U)$ зависит, очевидно, от соотношения зарядов, локализованных на медленных и быстрых состояниях при данном напряжении, приложенном к структуре, а также от концентрации поверхностных центров и их параметров. Эти величины, в свою очередь, определяются протеканием химической реакции окисления поверхности. В результате поведение кривых $I(U)$ для разных образцов оказывается неодинаковым. Имеющаяся неопределенность в данных о поверхностных состояниях не позволяет получить количественное описание эффекта гистерезиса излучения S_3 -линии, индуцируемого электрическим полем.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А с н и н В.М., Р о г а ч е в А.А., С т е п а н о в В.И., Ч у р и л о в А.Э. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 6. С. 1713-1722.

- [2] А с н и н В.М., К р ю к о в А.М., М а р к о в И.И.,
С т е п а н о в В.И. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 4.
- [3] А с н и н В.М., Р о г а ч е в А.А., С т е п а н о в В.И.,
Ч у р и п о в А.Б. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 43. № 9.
С. 436-439.
- [4] Р о м а н о в О.В., К о н о р о в П.П., К а р е в а Г.Г.
Электронные процессы на поверхности и в монокристаллических
слоях полупроводников / Под ред. А.В. Ржанова. Новосибирск:
Наука. 1967. 114 с.

Поступило в Редакцию
22 июля 1991 г.