

ВОЗГОРАНИЕ ЭКСИТОНА В ПОЛЕ БАРЬЕРА ШОТТКИ

В.А.Киселев

Обсуждается новый эффект – возгорание экситонной полосы отражения в поле барьера Шоттки на поверхности полупроводника. Приводятся результаты расчета, в котором впервые штарковская энергия и вероятность туннельной диссоциации экситона задавались как функции координаты. Подтверждаются результаты по электроотражению GaAs [1].

Известно, что состояние поверхности полупроводника оказывает сильное влияние на коэффициент отражения света в области экситонных переходов. В настоящей работе обсуждается эффект возгорания полосы экситонного отражения за счет притяжения экситона к поверхности полем барьера Шоттки. (На возможность затягивания экситона электрическим полем впервые указывалось в работе Грибникова и Рашба [2]). Увеличение вероятности нахождения экситона у поверхности приводит к усилению его взаимодействия с падающим на поверхность кристалла светом и возгоранию экситонной полосы. По-видимому такой эффект можно заметить на рис. 2 работы Евангелисти с сотрудниками по GaAs [1]. Возгорание в поле барьера Шоттки может быть использовано, например, при исследовании слабых экситонных линий.

Для расчета экситонного отражения света были использованы [3]: 1) формулы для линейного поля и квадратичного потенциала барьера Шоттки в зависимости от потенциала на поверхности ϕ_s и избыточной концентрации доноров $N_D - N_A$, 2) численные значения для штарковского сдвига и вероятности туннельной диссоциации экситона в электрическом поле. Они с использованием параметров для GaAs [4] пересчитывались из значений для атома водорода в сильных полях [5]. Результат – сдвиг резонансной частоты экситона $\Delta\omega_0$ и затухание Γ , как функции удаления экситона от поверхности z , – изображен на рис. 1, 3) метод расчета оптических свойств экситонов при произвольных $\Delta\omega_0(z)$ и $\Gamma(z)$, основанный на замене гладких функций ступенчатыми [6]. В настоящем расчете использовалось 40 ступенек с шириной от 10 до 50 Å. В результате указанной замены задача сводилась к расчету коэффициента отражения от слоистой среды с пространственной дисперсией. В качестве граничных условий, накладываемых на экситонную поляризацию на внутренних границах, требовалась непрерывность поляризации и ее производной. На внешней границе в настоящей работе, как и в [6], требовалось обращение экситонной поляризации в нуль.

Результаты расчета с параметрами [4] представлены на рис. 2 и рис. 3. (Для константы затухания экситона в объеме принималось значение $\Gamma = 0,8 \text{ см}^{-1}$). На рис. 2 отчетливо видно, что для $N_D - N_A \sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$ с ростом ϕ_s экситонное отражение света разгорается

~ в четыре раза! Это происходит из-за появления у поверхности кристалла потенциальной ямы для экситона (см. кривую $\Delta\omega_0$ на рис. 1) и, как следствие, увеличения вероятности нахождения экситона у поверхности.

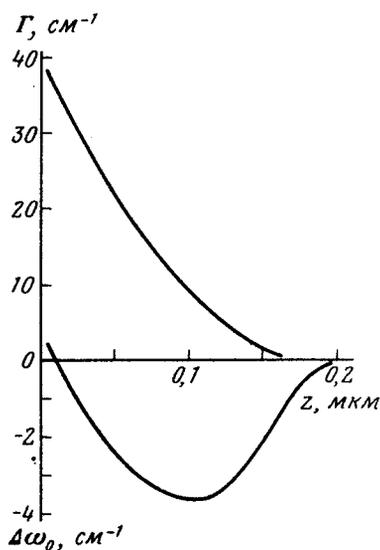


Рис. 1. Затухание Γ и сдвиг резонансной частоты $\Delta\omega_0$ экситона в барьере Шоттки кристалла GaAs [4] при $N_D - N_A = 0,9 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ [1] и $\phi_s = 0,025 \text{ В}$

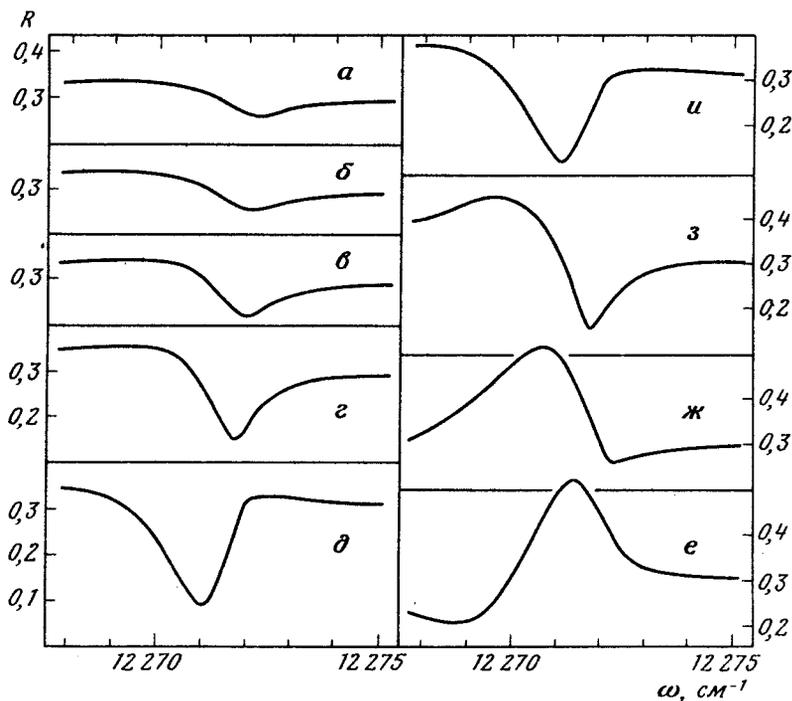


Рис. 2. Коэффициент отражения света в области экситонного перехода при $N_D - N_A = 0,9 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ [1] и ϕ_s , равном: *a* - 0, *б* - 0,001, *в* - 0,002, *г* - 0,003, *д* - 0,005, *е* - 0,01, *ж* - 0,015, *з* - 0,02, *и* - 0,025 В

Получен также эффект вращения контура отражения с увеличением ϕ_s , на котором было сосредоточено внимание в [1]. Он заключается в трансформации максимума коэффициента отражения света (рис. 2, $a - z$) в минимум (d, e) и наоборот, после чего контур отражения возвращается к первоначальной форме ($ж, з$), снова проходит все фазы и т. д. Вращение контура есть следствие интерференции света в приповерхностной области кристалла, свободной от экситонов, толщина которой растет по мере сдвига кривой $\Gamma(z)$ (см. рис. 1) внутрь среды при возрастании ϕ_s . Если построить зависимость коэффициента отражения от ϕ_s на фиксированной частоте, то вращение контура проявится в виде осцилляций. На рис. 3 представлена производная по $\phi_s^{1/2}$ от коэффициента отражения на резонансной частоте экситона $\omega_0 = 12271 \text{ см}^{-1}$ в зависимости от $\phi_s^{1/2}$. В основном она воспроизводит экспериментальную кривую работы [1] — также имеется область возгорания экситонного отражения $\phi_s^{1/2} < 0,1 \text{ В}^{1/2}$ на рис. 3 и область слабо затухающих осцилляций $\phi_s^{1/2} > 0,1 \text{ В}^{1/2}$. В деталях, однако, имеется расхождение. Особенно это касается сильной растянутости области малых полей на экспериментальной кривой [1]. В настоящее время нет смысла требовать большего совпадения, поскольку невыясненным остается, например, влияние сложной энергетической структуры экситона в GaAs на спектры отражения, отсутствует информация об энергетическом спектре и заполнении донорных и поверхностных состояний и т. д. Что же касается проведения расчета, то соответствующие усложнения не представили бы принципиальных трудностей.

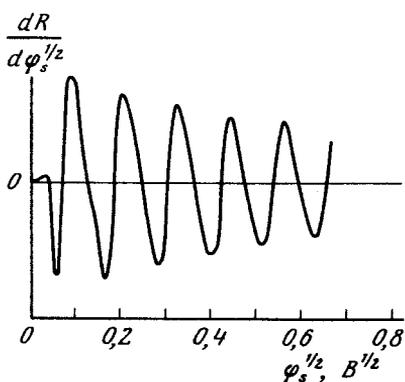


Рис. 3. Производная коэффициента отражения R по $\phi_s^{1/2}$ в зависимости от $\phi_s^{1/2}$ на частоте 12271 см^{-1} . Для наилучшего совпадения с [1] взято $N_D = N_A = 0,144 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$

В заключение приведем еще один результат, касающийся спайка - пика в отражении на частоте продольного экситона в спектре GaAs. Модель "мертвого слоя" [7] дает возможность получить спайк только при очень малых затуханиях Γ , по крайней мере $< 0,4 \text{ см}^{-1}$ [4]. Модель, в которой имеется приповерхностная потенциальная яма, в том числе барьер Шоттки, значительно смягчает требование к Γ [3, 6]. Для $N_D - N_A \sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$ в GaAs [4] спайк можно получить при значениях Γ вплоть до $1,2 \text{ см}^{-1}$ в объеме образца. Кроме того в модели мертвого слоя появление спайка сопровождается сильным понижением основного максимума отражения, т. е. некоторым вращением контура. Это не находит подтверждения в эксперименте [4]. Что же касается барьера Шоттки,

то он приводит к спайку без заметного вращения контура отражения. Таким образом эта модель описывает еще один опытный факт, не находивший ранее объяснения.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22 января 1979 г.
После переработки
21 февраля 1979 г.

Литература

- [1] F.Evangelisti, A.Frova, J.U.Fischbach. Phys. Rev. Lett., 29, 1001, 1972.
 - [2] З.С.Грибников, Э.И.Рашба. ЖТФ, 28, 1948, 1956.
 - [3] В.А.Киселев. ФТТ, 21, №4, 1979.
 - [4] D.D.Sell, S.E.Stokowski, R.Dingle, J.V.DiLorenzo. Phys. Rev., B7, 4568, 1973.
 - [5] R.J.Damburg, V.V.Kolosov. J. Phys., B9, 3149, 1976; В.В.Коло-сов. Автореферат канд. дисс. ЛГУ, Ленинград, 1978.
 - [6] В.А.Киселев. ФТТ, 20, 2173, 1978.
 - [7] J.J.Hopfield, D.G.Thomas. Phys. Rev., 132, 563, 1963.
-