

УДК 535.32

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ МОДУЛЯЦИИ
НА ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР CdSe/ПЭТФ

В.Г.ГУЗОВСКИЙ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Большой интерес к исследованию полупроводниковых наноразмерных структур на основе CdSe связан с их уникальными свойствами, определяемыми эффектом размерного ограничения носителей заряда. Известно, что такие структуры являются перспективным материалом для создания флуоресцентных меток и сенсоров, способных конкурировать с традиционными органическими красителями. Контроль параметров наноструктур является актуальной задачей и потенциальными возможностями для исследования их свойств обладают методы фотомодуляционной спектроскопии. В фотомодуляционной методике используется периодически изменяющее с определенной частотой излучение накачки, интенсивность которого в несколько раз больше интенсивности зондирующего пучка. Действие излучения накачки на образец выражается в температурной модуляции оптических параметров и модуляции заполнения уровней электронных состояний полупроводника. Для учета влияния периодического изменения температуры пленки решалась задача нагрева тонкопленочной структуры световым излучением, при следующих допущениях:

– вся поглощенная световая энергия идет на нагревание тонкопленочной структуры;

– теплопередача в пленке из области нагрева в соседнюю область считалась пренебрежимо малой. Так как толщина пленки $d \sim 1 \text{ мкм}$ и диаметр пятна, облучаемого лазерным излучением $r_0 \sim 1 \text{ мм}$, а количество тепла рассеиваемого в пленку $Q_{\text{пленка}}$ и подложку $Q_{\text{подложка}}$ пропорционально площади, то отношение $Q_{\text{пленка}}/Q_{\text{подложка}} = 2d/r_0 \sim 10^{-3}$;

– так как толщина пленки в ~ 5000 раз меньше толщины подложки ($\sim 5 \text{ мм}$), то при нагреве пленки тепло рассеивается в полуограниченное тело – подложку;

– пренебрегается теплообменом между поверхностью пленки и окружающей средой.

Таким образом, в рамках данной модели вычисления позволяют оценить верхний предел изменения температуры тонкопленочной структуры при модулирующем воздействии лазерного пучка. Исходя, из выше приведенных предположений и допущений была сформулирована двумерная нестационарная задача теплопроводности для полуограниченного тела при

подводе к нему тепла через тонкий плоский круг. Полученные решения этой задачи при различных частотах модуляции Ω позволили сделать вывод о зависимости температурной составляющей модуляционного сигнала как $\Omega^{1/2}$.

Проведенные исследования фотомодуляционных спектров поглощения наночастиц CdSe позволили установить ряд важных закономерностей. Более высокие уровни размерного квантования в спектрах фотомодуляции не проявлялись. В коротковолновой области спектра на расстоянии 0,41 эВ от положения пика, соответствующего E_g (для наночастиц радиусом ~ 5 нм), независимо от частоты модуляции, интенсивности и длины волны возбуждающего излучения, располагался другой модуляционный пик, соответствующий спин-орбитальному расщеплению Δ_{so} валентной зоны CdSe. Амплитуда этих пиков ($h\nu = E_g$) при $\lambda_p = 488$ нм и $\lambda_p = 633$ нм растет пропорционально световой мощности и уменьшается почти пропорционально корню квадратному из длительности импульса τ . Коэффициенты наклона m в зависимостях $\ln(\Delta T/T)$ от τ равен 0,47 и 0,53 соответственно. Это говорит в пользу преимущественно теплового механизма модуляционного отклика при воздействии сильно поглощаемого пленкой и не проникающего на всю ее глубину коротковолнового излучения.

В фотомодуляционных спектрах пропускания пленок в области слабого поглощения полупроводника ($h\nu < E_g$) видно, что с увеличением частоты модуляции фотоиндуцированные изменения коэффициента поглощения распространяются на длинноволновую область спектра. И при $\lambda_p = 633$ нм и больших τ заметных различий в спектрах фотоотклика по сравнению с $\lambda_p = 488$ нм не наблюдалось. Однако, с повышением частоты модуляции величина «спин-орбитального» пика резко уменьшалась ($m = 0,75$). Вдали за краем поглощения, наоборот, величина $\Delta T/T$ почти не зависела от τ и f_m (коэффициент m равен 0,15). В итоге частотная зависимость спектров фотоотклика проявлялась гораздо сильнее, чем при $\lambda_p = 488$ нм ($h\nu_p = 2,54$ эВ). Следовательно, фотоиндуцированные изменения на урбаховском крае поглощения имеют преимущественно нетепловую природу.

Таким образом, варьируя частоту модуляции, можно в фотомодуляционном спектре полупроводниковых наноструктур выделять области, имеющие различные механизмы фотоотклика и оценивать температурную составляющую фотомодуляционного сигнала.