

ния теоретических и экспериментальных кривых. Расчет первых четырех моментов формфункции был проделан по методике [4]. В избранной модели расчет моментов проводится точно в силу локального характера частотного эффекта. Наилучшее согласие теоретических и экспериментальных кривых достигается при следующих значениях параметров ЭКВ: $\alpha=3.75$, $W=0.33$.

Неплохое согласие расчетных и экспериментальных кривых показывает, что температурная эволюция спектра объясняется существенным вкладом квадратичного вибронного взаимодействия с e -модами при том, что доминирующее линейное взаимодействие с этими модами определяет статический эффект Яна-Теллера в состоянии 5T_2 иона Cr^{2+} в $ZnSe$ и других кристаллах A_2B_6 . Взаимодействие с t_2 -модами, как и предполагалось ранее [2], оказывается малым.

Мы признательны М. П. Кулакову за выращивание кристаллов, А. Л. Натадзе за предоставление спроектированной плотности колебаний беспримесного кристалла и А. В. Васильеву за предварительные измерения спектров.

Литература

- [1] Vallin J. T., Watkins G. D. — Sol. St. Commun., 1971, v. 9, N 13, p. 953—956.
- [2] Nygren B., Vallin J. T., Slack G. A. — Sol. St. Commun., 1972, v. 11, N 1, p. 35—38.
- [3] Kaminska M., Baranowski J. M., Uba S. M., Vallin J. T. — J. Phys. C, 1979, v. 12, N 11, p. 2197—2214.
- [4] Кубо Р., Тоёдзава Ю. — В кн.: Проблемы физики полупроводников. М., 1957, с. 442.
- [5] Берсукер И. Б., Полингер В. З. Вибронные взаимодействия в молекулах и кристаллах. М., 1983. 336 с.
- [6] Лэкс М. — В кн.: Проблемы физики полупроводников. 1957, с. 407.

Поступило в Редакцию 5 февраля 1986 г.

УДК 535.37 : 539.23

Опт. и спектр., т. 61, в. 1, 1986

О ВЛИЯНИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ НА СПЕКТРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Барабан А. П., Коноров П. П., Кручинин А. А.

Методы, позволяющие изучать люминесцирующие дефекты в диэлектрическом слое и на границе раздела диэлектрика с полупроводником, перспективны для исследования структур диэлектрик—полупроводник, которые составляют основу широкого класса микроэлектронных приборов. При этом толщина диэлектрических слоев, представляющих наибольший практический интерес, сравнима с длиной волны люминесцентного излучения, в силу чего интерференция лучей, идущих непосредственно от центра свечения к точке наблюдения, с лучами, отраженными от границ диэлектрического слоя, может существенно влиять на спектральное распределение свечения и на зависимость его интенсивности от толщины диэлектрика. Цель настоящей работы заключалась в изучении влияния интерференции на характеристики люминесценции на примере структур $Si-SiO_2$ в условиях, которые реализуются при экспериментальном исследовании электролюминесценции (ЭЛ) в системе электролит—диэлектрик—полупроводник, где электролит выступает в качестве среды, характеризующейся определенным показателем преломления, и катодолюминесценции таких структур.

Для анализа влияния интерференции в настоящей работе использовались полученные в [1] соотношения, связывающие интенсивность излучения с параметрами излучающей системы. При этом использовалась простейшая модель

излучающей системы, которая предполагает однородное распределение центров свечения в некотором слое, их равномерное возбуждение и заданное расположение этого слоя по толщине диэлектрика. Данная модель описывается восемью независимыми параметрами, четыре из которых характеризуют геометрию системы (толщину диэлектрического слоя, толщину слоя свечения h , расстояние от внешней границы диэлектрика до слоя свечения H_1 , угол наблюдения α). Остальные параметры являются оптическими константами полупроводниковой подложки, диэлектрического слоя и окружающей среды. Оптические постоянные кремния и двуоксида кремния, используемые в расчетах, были определены эллипсометрическим методом. Показатель преломления электролита (водный раствор сульфата натрия) измерялся с помощью рефрактометра.

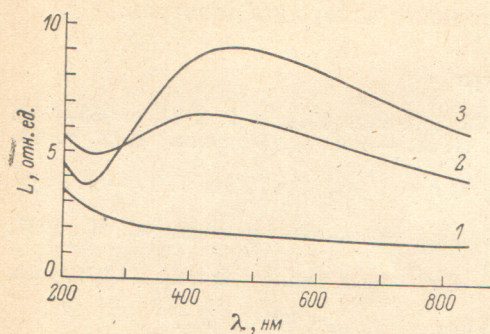


Рис. 1. Влияние интерференции на интенсивность электролюминесценции в системе Si—SiO₂—электролит для различного расположения центров свечения в окисном слое толщиной 100 нм.

1 — люминесцирующая область толщиной 20 нм примыкает к межфазовой границе Si—SiO₂, 2 — центры свечения распределены по всей толщине окисла равномерно, 3 — центры свечения сосредоточены во внешней области окисного слоя толщиной 50 нм.

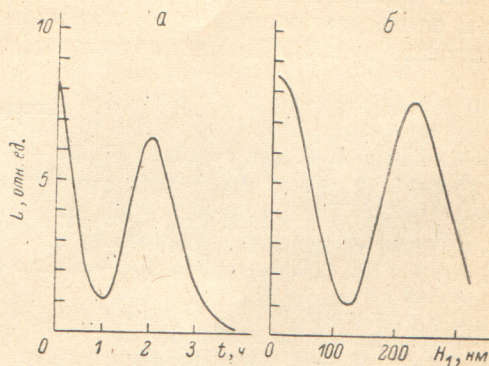


Рис. 2. Кинетика полосы 650 нм в спектре катодолуминесценции структуры Si—SiO₂ по данным [2] (а) и изменение относительной интенсивности этой полосы за счет перемещения светящегося слоя толщиной 10 нм вглубь окисла от его внешней поверхности (б).

Результаты расчетов, показывающие изменение относительной интенсивности различных участков спектра ЭЛ-окисного слоя в системе Si—SiO₂—электролит, обусловленное различием условий интерференции в диэлектрическом слое при изменении длины волны излучения, для трех разных распределений центров свечения по толщине окисла при заданных параметрах излучающей системы приведены на рис. 1. Видно, что интерференция в окисном слое приводит к модуляции относительной интенсивности ЭЛ в зависимости от длины волны, причем влияние интерференции наиболее существенно в случае расположения центров свечения во внешней части окисного слоя и в этом случае разность интенсивностей определенных участков спектра может достигать 70 % при толщине окисного слоя 100 нм, для которой интерференционными эффектами обычно пренебрегают. При наличии в окисном слое люминесцентных центров различного типа, имеющих различное пространственное распределение, интерференция может привести к изменению относительной интенсивности излучаемых ими характеристических полос более чем в 4 раза для толщины диэлектрика 100 нм. Следовательно, для восстановления истинной формы спектра люминесценции тонких диэлектрических слоев на поверхности полупроводников и для корректного определения относительной интенсивности характеристических полос в спектре необходим учет интерференционных искажений, связанных с характером распределения центров свечения в диэлектрическом слое.

Из зависимостей, приведенных на рис. 1, следует, что в случае перемещения люминесцирующей области внутри диэлектрического слоя в процессе регистрации интенсивности какой-либо из характеристических полос спектра будет происходить изменение интенсивности люминесценции, которое может быть неверно интерпретировано как изменение количества центров свечения в диэлектрическом слое. В качестве подтверждения высказанного соображения можно срав-

нить экспериментальную зависимость изменения интенсивности полосы катодолюминесценции 650 нм от времени выдержки структуры в парах воды, полученную в [2] и интерпретированную без учета возможного влияния интерференции, с изменением интенсивности характеристической полосы люминесценции 650 нм для аналогичных структур, рассчитанных для случая перемещения люминесцирующей области от поверхности окисла в сторону границы Si—SiO₂ при неизменной концентрации центров свечения (рис. 2). Из сопоставления следует, что наблюдаемое в [2] изменение интенсивности люминесценции может быть полностью обусловлено изменением расположения светящегося слоя при неизменном количестве центров свечения в окисле.

Влияние интерференции на характеристики люминесценции тонкого диэлектрического слоя может быть использовано для получения сведений об области локализации центров свечения. Такие сведения могут быть получены из относительной интенсивности люминесценции при изменении величины какого-либо параметра излучающей системы, при фиксированной длине волны (характеристическая полоса) в спектре люминесценции и заданных остальных параметрах излучающей системы. В качестве такого параметра может быть выбрана толщина диэлектрического слоя или угол наблюдения. При использовании для регистрации электролюминесценции системы электролит—диэлектрик—полупроводник появляется дополнительная возможность изменения параметров излучающей системы, заключающаяся в изменении показателя преломления среды, в которой происходит регистрация излучения, т. е. электролита. Во всех этих случаях определение области локализации центров свечения осуществляется путем подбора соответствующего распределения центров свечения, позволяющего получить расчетную зависимость интенсивности люминесценции от выбранного параметра, совпадающую с экспериментально измеряемой.

Таким образом, учет влияния интерференции на интенсивность люминесценции, регистрируемой в тонких диэлектрических слоях на поверхности полупроводников, с одной стороны, необходим для корректного определения характеристик центров излучения, с другой стороны позволяет получать сведения об области локализации центров свечения в диэлектрическом слое.

Литература

- [1] Holm R. T., McKnight S. W., Palik E. D., Lucosz W. — Appl. Opt., 1982, v. 21, N 14, p. 2512—2519.
- [2] Пундур П. А., Слоценице Э. А., Эрштейнс Р. В. — Микроэлектроника, 1984, т. 13, № 1, с. 89—91.

Поступило в Редакцию 20 февраля 1986 г.