

ширины запрещенной полосы по выражению (1), поэтому легко поддаются количественной оценке. Но с изменением межуровневого расстояния и все большим изменением расстояния между возмущенным и стабильным уровнями при постоянной величине кванта возбуждающего ультрафиолетового излучения резко снижается вероятность осуществления актов возбуждения центров свечения  $p_i$ , поскольку кванту ультрафиолета все труднее «доставать» удаляющийся верхний уровень энергии, или все легче «перебрасываться» в зону проводимости. По аналогии с другими энергоактивируемыми процессами [4] (диффузией, испарением и пр.) для величины вероятности свершения актов возбуждения и излучения  $p_i$  можно записать:

$$p_i = \exp(-(\hbar\nu)_i^2 / (\hbar\nu)_0^2); \quad (4)$$

Величину относительной интенсивности излучения определим через произведение числа переходов на вероятность излучательной рекомбинации:

$$J_{\text{отн}} = C \cdot (\hbar\nu)_0 \cdot \exp(-(\hbar\nu)_i^2 / (\hbar\nu)_0^2); \quad (5)$$

где  $C$  - концентрация каждого из соактиваторов в процентах.

#### Обсуждение результатов расчетных оценок

Сопоставление экспериментально полученной с помощью спектроскопических измерений [2] и расчетным путем построенной с использованием уточненной формулы Ансельма спектральных полос излучения галофосфатного люминофора с активаторными центрами свечения **Sb** и **Mn** позволяет высказать следующие замечания.

Предлагаемая методика позволяет получать принципиальную возможность расчетного построения спектра излучения при условии надежных данных относительно концентрации активаторов и аналитической формы распределения интенсивности линий спектра. На начальном этапе этих исследований не следует ожидать точного совпадения экспериментальной и расчетной полос излучения люминесценции. Расчетный спектр может оказаться существенно более измененным по отношению к экспериментальному и это возможно по нескольким причинам. Пока невозможно учесть все факторы, которые влияют на параметры спектров и, прежде всего, на соотношение максимумов излучения соактиваторов сурьмы и марганца. По данным работы Гугеля [2] на спектр излучения оказывает существенное влияние не только соотношение концентраций соактиваторов **Sb** и **Mn**, но и соотношение входящих в химическую формулу люминофора ионов галогенов фтора и хлора и даже примесных фаз. Кроме того, на форму расширенного спектра существенное влияние оказывает плотность дислокаций и характер их распределения в решетке люминофора. Возможны и другие причины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитенко В.И., Осипьян Ю.А. Влияние дислокаций на оптические, электрические и магнитные свойства кристаллов. Проблемы современной кристаллографии. «Наука». 1975.- С. 239-261.
2. Гугель Б.М. Люминофоры для электровакуумной промышленности. М.: «Энергия», 1967.- 344 с.
3. Ансельм А.П. Введение в теорию полупроводников. М.: Мир. 1972. -386с.

4. Герцрикен С.Д., Дехтяр И.Я. Диффузия в металлах и сплавах в твердой фазе. М.: «Физматгиз».- 1960.- 564 с.

#### ОБ ОЦЕНКЕ ПЕРСПЕКТИВ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВИРТУАЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Мордюк В.С., Горюнов В.А., Золотков В.Д.,  
Тихонова Н.П., Маскинсков Д.В.  
*Мордовский госуниверситет,  
Саранск*

Бытующие представления о люминофорах, как о диэлектриках, в которые «вкраплены» точечные дефекты (активаторы) с позиций современной теории дислокаций недостаточно точны. Дислокации в диэлектриках и полупроводниках являются шнурами проводимости [1], поэтому правильнее представлять себе структуру люминофора, как некую смесь трех объемов – проводящих объемов, локализующихся вокруг ядер дислокаций, идеальных диэлектриков на большом расстоянии от этих дефектов, и объемов с переходными свойствами от диэлектрика к проводнику, локализующихся в непосредственной близости вокруг дислокаций. Каждый из этих объемов обладает различной «активностью» с точки зрения интенсивности люминесценции. Отсюда следует вывод о вероятностном характере актов возбуждения активаторных центров и актов излучения ими видимого света, что сильно зависит от плотности дислокаций в решетке. Простые микроскопические рассуждения подсказывают, что часть налетающих фотонов ультрафиолета, сразу попадающие в области дислокационных проводящих ядер не способны осуществлять акты излучения видимого света. Еще в начале 19 века было замечено [2], что предельно размолотые люминофоры полностью теряют способность люминесцировать. Это объясняется только тем, что в этом случае плотность дислокаций настолько велика, что практически весь объем люминофоров превращается в проводник, в котором акты возбуждения и излучения света центрами свечения невозможны. Имеющиеся наблюдения [3,4] показывают, что с увеличением степени размолота и плотности дислокаций в люминофорах происходит уменьшение интенсивности люминесценции и снижение световой отдачи люминесцентных ламп. Из этих рассуждений следует простой вывод о том, что для увеличения эффективности люминофоров необходимы исследования и разработки по дальнейшему снижению плотности дислокаций в кристаллической решетке. Пока отсутствуют реальные разработки по значительному уменьшению плотности этих дефектов в порошковых люминофорах, в настоящем изложении кратко описываются результаты виртуального эксперимента по перестройке реального расширенного спектра люминесценции при условии полного отсутствия в люминофоре проводящих дислокационных линий. В области локализации дислокаций происходит изменение ширины запрещенной полосы и энергетических расстояний между стабильными и возмущенными электронными уровнями активаторов [5].

При постоянной длине волны возбуждающего излучения это приводит к появлению увеличивающихся и уменьшающихся квантов видимого света в областях расширения и сужения запрещенной полосы соответственно. Одновременно с этим резко изменяется вероятность осуществления актов возбуждения, что ведет в конечном итоге к расширению спектра люминесценции и снижению ее интенсивности при удалении влево и вправо от длины волны, при которой наблюдается максимум излучения. Область максимума соответствует объемам люминофора вдали от локализации дислокаций с постоянной шириной запрещенной полосы, постоянной величиной квантов видимого света и постоянной вероятностью осуществления актов возбуждения и излучения квантов люминесценции.

Методика эксперимента заключалась в следующем. Реально измеренный спектр у основания разделяется на диапазоны по 5 – 10 нанометров. Поскольку отсутствуют дислокации, отсутствует расширение спектра, не будет и расширенных полос излучения каждого из активаторов, поскольку отсутствует основная причина их расширения – внутренние напряжения от дефектов. Не будет ни увеличенных, ни уменьшенных по величине квантов, так как в бездефектной решетке энергетические расстояния между стабильными и возмущенными уровнями активаторов повсеместно будут постоянными. По той же причине не будет наблюдаться изменение вероятности возбуждения и излучения активаторных центров, все они будут излучать с одной и той же вероятностью, равной 1. Поскольку в бездефектной решетке отсутствуют причины появления квантов света различной величины и причины изменения вероятностей возбуждения и излучения, интенсивность люминесценции в каждом из диапазонов будет одинаковой и равной максимальной интенсивности в каждой из составных частей разделенной экспериментальной полосы. В бездефектной решетке вместо расширенных максимумов будут наблюдаться только узкие линии излучения с шириной, примерно равной ширине каждого из диапазонов и высотой во столько раз большей высоты каждого из максимумов экспериментальной кривой, сколько диапазонов находится у основания каждого из них. В качестве независимого качественного подтверждения получения линейчатого спектра у бездефектного галофосфатного люминофора, можно указать на то, что у так называемых «редкоземельных» люминофоров, в которых редкоземельные активаторы европий, тербий и другие излучают не внешними валентными электронами, а внутренними, тоже наблюдается линейчатый спектр с чрезвычайно узкими (до 3-5 нанометров) полосами излучения. Оценку перспектив повышения эффективности люминофоров можно проводить в двух направлениях. По одному из них сугубо энергетический выигрыш оценивается просто как частное от деления площади линейчатого спектра на площадь реально измеренного спектра. Более близким к практическим задачам является направление по оценке повышения световой эффективности, (точнее – в повышении световой отдачи) широко применяющегося галофосфатного люминофора у которого наблюдаются два максимума, сурьмяный и

марганцевый. Поэтому для оценки повышения световой эффективности этого люминофора и экспериментальную уширенную спектральную полосу и оба линейчатые максимума пересчитывались с учетом относительной спектральной световой эффективности излучения. За счет такого пересчета, оба максимума существенно уменьшаются по величине, а реально измеренный двуполостный максимум превратился в полосу с одним максимумом. Повторяя теперь деление площади под обоими пересчитанными линейчатыми максимумами на площадь пересчитанного реального максимума, получаем величину 2,28, т.е. эффективность бездефектного люминофора может быть повышена в 2,28 раза от 85 лм/Вт до величины 193,8 лм/Вт, что примерно совпадает с оценками работы [6], по которой световая отдача люминесцентных ламп в перспективе может быть повышена до 145 лм/Вт. Для компактных материалов способ уменьшения плотности дислокаций реализуется посредством регулируемых отжига. В случае порошков затруднения связаны с возможностью из взаимного спекания, после чего их вновь необходимо было бы размалывать.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матаре Г. Электроника дефектов в полупроводниках. М.: 1974. - 464 с.
2. Риль Н. Люминесценция. Государственное издательство технико-теоретической литературы. 1946. – 184 с.
3. Нилендер Р.А., Трошенский Д.П. Усовершенствование люминофоров для источников света. Известия АН СССР. Сер. физ. 1961.- Т 25.- № 3.- С.435-438.
4. Мордюк В.С. Физические модели, структурные механизмы и методы замедления процессов старения материалов в источниках света. Дисс. докт. техн. наук, Москва, 1995 – 487 с.
5. Бонч-Бруевич В.Л., Гласко В.Б. К теории электронных состояний, связанных с дислокациями. Физика твердого тела.- Т.111.- Вып. 1.- С. 36 – 44.
6. Kauer E., Schnedler E. *Moglichkeiten und Grenzen der Lichterzeugung*. Phus. Bl.-Vol.42.- №5. S. 128 – 133.

#### О ПРЯМОМ ТЕОРЕТИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ДРЕЙФОВЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ

Мордюк В.С., Зорина Т.М., Сафроненков С.А.  
*Мордовский госуниверситет имени Н.П. Огарева,  
 Саранск*

В соответствие с известной формулой Френкеля среднее время ожидания перескока иона или структурного дефекта  $\tau_e$  из одного стабильного состояния в другое через разделяющий их энергетический барьер  $U_e$ , (или частота перескоков  $\nu_e$  в единицу времени при периоде  $\tau_0$  и частоте  $\nu_0$  тепловых колебаний ионов и средней энергии тепловых колебаний  $RT$  при температуре  $T$ ) записываются:

$$\tau_e = \tau_0 \exp(U_e/RT); \nu_e = \nu_0 \exp(-U_e/RT); \quad (1)$$

При периодическом изменении электрического поля учитывается вероятность акта перескока за пе-