

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ЛАМПОВЫХ ЛЮМИНОФОРОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ СВЕТОВОЙ ОТДАЧИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

Буряк В.В.¹, Коваленко О.Ю.¹, Гусева Е.Д.¹

¹ГОУ ВПО «Мордовский Государственный университет им. Н.П.Огарева», Саранск, Россия (430000, Саранск, ГСП ул. Большевикская, 68), e-mail: dep-mail@adm.mrsu.ru

В данной работе рассматривается влияние дефектов структуры (плотности дислокаций и дислокационных скоплений) галофосфатных люминофоров активированных сурьмой и марганцем на световой поток в люминесцентных лампах. Экспериментальные данные показывают снижение светового потока люминесцентных ламп при увеличении количества дислокаций в кристаллах люминофора. Проводится аналогия с дефектами (дислокации и дислокационные скопления) в металлах и сплавах и ультразвуковым методом их обработки с целью снижения локальных напряжений, которое проявляется в изменении распределения дислокаций по ямкам травления в монокристалле вольфрама и скорости упругого последствия вольфрамовых проволок. Применение ультразвуковой обработки лампового люминофора позволяет увеличить относительный световой поток за счет влияния механических колебаний на перераспределение дислокаций в кристалликах, по аналогии с металлами.

Ключевые слова: люминофор, дислокации, плотность, напряжения, световой поток, тушение, ультразвук, колебания, перераспределение.

THE USE OF ULTRASONIC PROCESSING LAMP PHOSPHORS WITH THE AIM OF INCREASING LIGHT OUTPUT FLUORESCENT LAMPS

Buryak V.V.¹, Kovalenko O.Y.¹, Guseva E.D.¹

¹GOU VPO "Mordovia State University. NPOgareva ", Saransk, Russia (430000, Saransk, GSP st. Bolshevist, 68), e-mail: dep-mail@adm.mrsu.ru

This paper examines the impact of structural defects (the dislocation density and dislocation clusters) halophosphate phosphors activated by antimony and manganese on the luminous flux in fluorescent lamps. Experimental data show the decrease of the luminous flux of fluorescent lamps by increasing the number of dislocations in crystals of the phosphor. Be analogy with defects (dislocations and dislocation clusters) in metals and alloys by ultrasonic method and their processing with the aim of reducing local stresses, which is manifested in the change of the distribution of dislocation etch pits by etching in a single crystal of tungsten and the velocity of the elastic aftereffect tungsten wires. The use of ultrasonic treatment of the phosphor lamp allows to increase the relative luminous flux due to the influence of mechanical vibrations on the redistribution of dislocations in crystals, by analogy with metals.

Keywords: phosphor, dislocation, density, voltage, luminous flux, quenching, ultrasonics, vibrations, redistribution.

В настоящее время в люминесцентных лампах (ЛЛ) в основном применяются люминофоры, состоящие из галофосфатов кальция активированных сурьмой и марганцем (ГФЛ). Люминофоры являются кристаллическими веществами и содержат различного рода дефекты кристаллической решетки, влияющие на их эксплуатационные свойства. Основное влияние на световой поток ЛЛ дают дислокации и их скопления. Снижение излучающей способности люминофоров отмечается многими авторами на основании теоретических расчетов и экспериментальных результатов. На излучающей способности люминофоров сказывается количество и распределение дислокаций [1,4,5]. Снижение дефектности люминофора является актуальной задачей. На основании выводов, сделанных авторами [3] о снижении внутренних напряжений в кристаллах под действием ультразвуковых колебаний (УЗК), в данной работе были проведены экспериментальные исследования по определению

влияния УЗК на дислокационные скопления, создающие эти напряжения, результатом которого должно явиться увеличение излучающей способности люминофора.

С точки зрения влияния дефектной структуры люминофора, на его оптические свойства, наиболее опасными являются скопления дислокаций, образующиеся в результате деформирования, например размола. Показательными являются следующие результаты этого влияния [1]: плотность дислокаций в кристаллах люминофоров может достигать величины порядка 10^8 см⁻² и более; предельно деформированное состояние люминофора характеризуется плотностью дислокаций $10^{11} - 10^{12}$ см⁻², которая сравнима с плотностью дислокаций хорошо наклепанных металлов и сплавов (при этом яркость свечения и световая отдача ламп близки к нулю [4]); в производстве люминесцентных ламп наличие высокой плотности дислокаций приводило к снижению яркости люминофоров (до 15 %) после их технологического размола.

Дислокации и их скопления в частицах люминофоров оказывают тушащее действие на люминесценцию [3], которое обусловлено особым взаимодействием локализованной в области дефектов внутренней энергии решетки люминофора с подводимой извне энергией возбуждения активаторов.

По мнению авторов [2-3]: становится все более очевидным, что внутренние напряжения вокруг дислокационных линий оказывают угнетающее действие на излучения люминофоров и световую отдачу ЛЛ, что требует разработки методов снижения плотности дислокаций в кристаллах люминофора.

Авторами [3] были приведены результаты влияния УЗК на монокристалл вольфрама (рисунок 1), где показан эффект снижения локальных напряжений, за счет равномерного распределения дислокаций.

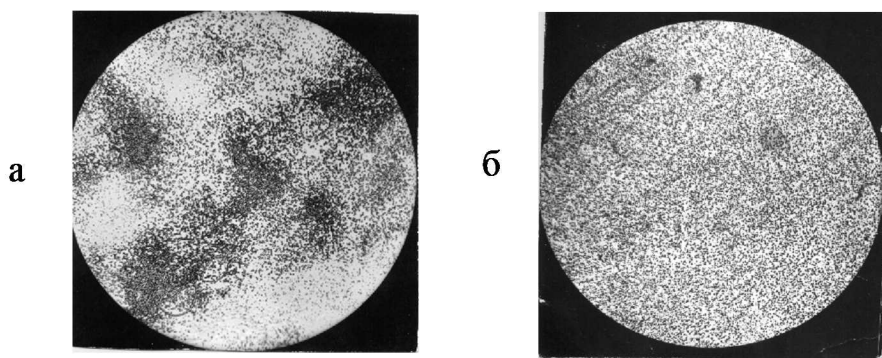


Рис. 1. а, б – распределение дислокаций по ямкам травления в деформированном монокристалле вольфрама до и после воздействия ультразвуковых колебаний

Эффект снижения локальных напряжений от дислокационных скоплений под действием УЗК хорошо проявляется в процессе изменения скорости упругого последействия

в вольфрамовых проволоках [3]. Упругое последствие (УП) – как временная зависимость деформации $\varepsilon_{уп}(t)$ предварительно деформированных кручением проволоочных образцов позволяет определять наличие упругих скоплений дислокаций по скорости раскручивания, являясь одним из методов их обнаружения и контроля.

Линейные дислокационные скопления наблюдаются и в частицах люминофора. Это хорошо иллюстрирует рисунок 2, где показано упругое линейное дислокационное скопление перед фазовым включением в отдельной частице люминофора [1].

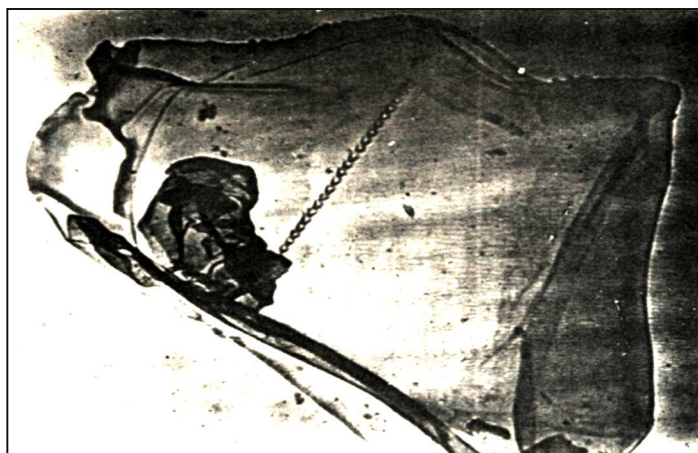


Рис. 2. Линейное скопление дислокаций в виде цепочки перед фазовым включением в частице люминофора (растровая электронная микроскопия)

Для снижения плотности дислокаций и локальных напряжений в люминофорах, был предложен метод его обработки с применением УЗК [3]. УЗК хорошо распространяются в твердых телах и жидкостях и имеют свойство затухать практически полностью в воздухе. Эти свойства определяют условия ультразвуковой обработки. Наиболее приемлемым в данном случае является применение ультразвуковой ванны, в которую необходимо помещать люминофор.

Была проведена ультразвуковая обработка лампового люминофора марки ФЛ 580-3500-1 «белой цветности». Люминофор в виде суспензии обрабатывался в ультразвуковой ванне с УЗК различной интенсивности и с разной продолжительностью. Образцы для определения эффективности ультразвуковой обработки люминофора представляли собой нанесенные на стеклянную пластинку суспензию люминофора, которые отжигались в муфельной печи. Для каждой экспериментальной точки (рисунок 3) были изготовлены по четыре образца. Измерение относительной яркости от образцов проводились с помощью спектродиометра Spekbus 1211. Экспериментальные данные представлены (табл.1).

Таблица 1

Экспериментальные данные

№ партии	Lv [о.е.]			
	1	65,03	65,02	64,90
2	73,41	74,04	73,84	72,90
3	72,94	72,71	71,80	72,94
4	74,83	75,08	75,11	74,80
Контрольная партия	66,92	67,01	67,09	66,87

Статистическая обработка данных приведена (табл.2).

Таблица 2

Статистическая обработка экспериментальных данных

№ партии	Среднее арифметическое	СК О	Размахи	Медиана
	$X_{\text{ср}}$	S_i	R_i	$X_{\text{мед}}$
1	64,73	0,2 6	1,05	64,96
2	73,55	0,3 4	1,14	73,63
3	72,60	0,5 1	1,14	72,83
4	74,96	0,1 4	0,31	74,96
Контрольная партия	66,97	0,0 8	0,22	66,97

Для визуализации построен график (рис.3), показывающий увеличение относительной яркости люминофора до 15 % по отношению к исходному.

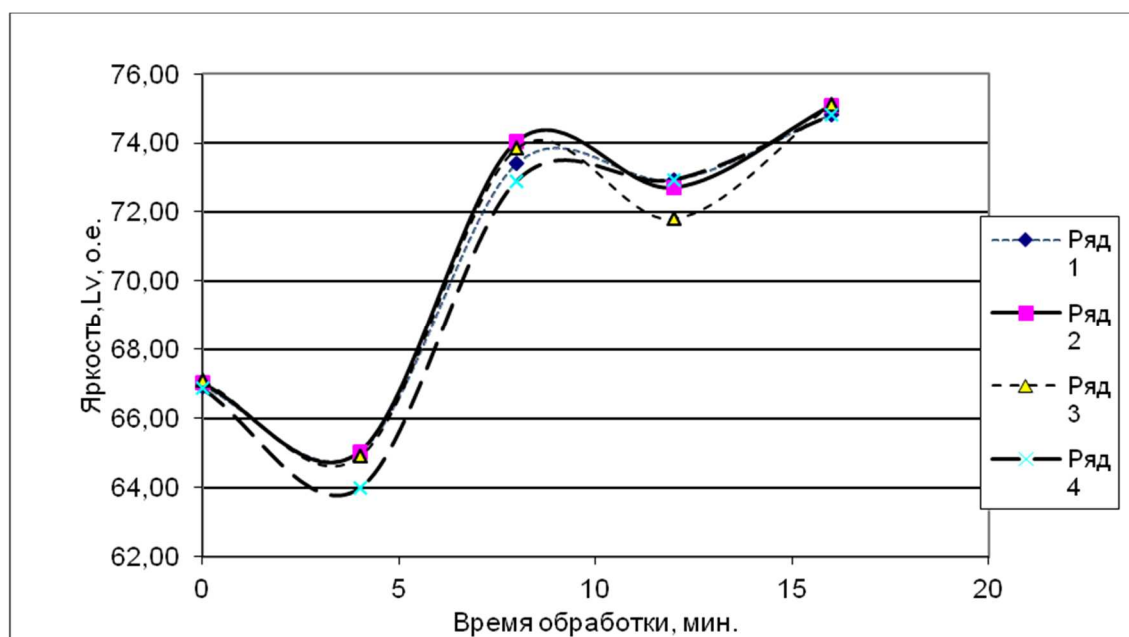


Рис. 3. Изменение относительной яркости лампового люминофора после ультразвуковой обработки

Визуально можно определить, что четвертая партия образцов имеет наилучший результат. Дальнейшая обработка заключалась в анализе четвертой партии экспериментальных образцов.

Проведем проверку гипотезы нормальности для одной из серий эксперимента.

Необходимо вычислить, сумму квадратов отклонений от среднего арифметического (1):

$$S_E = \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2, \quad (1)$$

где x_i – i е измерение,

x_{cp} – среднее значение.

$S_E = 0,01$.

Далее вычисляется величина b_n по формуле (2):

$$b_n = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1} (x_{n-i+1} - x_i) \quad (2)$$

Значения коэффициентов a_{n-i+1} берутся из таблицы

$W_n = 1,00$.

$1,00 > 0,93$ – гипотеза нормальности подтверждается.

Сравнение нескольких дисперсий по критерию Бартлета.

Средняя арифметическая взвешенная всех выборочных дисперсий определяется по формуле (3):

$$S_A^2 = \sum_{j=1}^n \frac{S_j^2}{n} \quad (3)$$

$S_A^2 = 0,02$;

$X_p^2 = 31,45$;

$X^2_{(2;0.05)} = 6$.

$X_p > X_{г}$, дисперсии не однородны.

Сравнение двух средних значений по критерию Стьюдента (4):

$$t = (S_{a1}^2 - S_{a2}^2) / (S_{cp}^2)^{0,5} \cdot (1/n+1/n)^{0,5} , \quad (4)$$

где S_a^2 – средняя дисперсия воспроизводимости,

n – количество измерений .

$$t_p = 78,96.$$

$$t_{кр} = 2,10.$$

$t_p > t_{кр}$, различия между средними есть.

Выводы

Для повышения оптических свойств люминофоров необходимо снижение плотности дислокаций и локальных напряжений, вызванных дислокационными скоплениями. Проведенные исследования по обработке лампового люминофора ультразвуковыми колебаниями показали правильность высказанных предложений авторов [3] по снижению плотности дислокаций в локальных объемах. Результаты, полученные в ходе исследований, показали эффективность ультразвуковой обработки люминофоров в целях улучшения их оптических свойств, повышения излучающей способности в среднем до 15%, что совпадает с ранее полученными данными [1].

Список литературы

1. Александров Л. Н., Золотков В. Д., Мордюк В. С. Ростовые и радиационные дефекты кристаллов люминофоров для источников света. - Новосибирск: Наука, 1986.-184 с.
2. Бурханов Г.С., Мордюк В.С., Буряк В.В. и др. Фундаментальные и прикладные научные проблемы использования особоличистых материалов в источниках света с целью повышения их эффективности и энергосбережения //Горный информационно аналитический бюллетень. Тематическое приложение. Функциональные материалы. Изд. РАН.- 2005.- С.103-112.
3. Буряк В.В., Мордюк В.С. Дефекты структуры и световой поток ламповых люминофоров. Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики//мат. XII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием в рамках III Всерос. светотехнич. форума с междунар. участием. МГУ им. Н.П. Огарева. - Саранск: Изд. Афанасьев В.С., 2015.- С. 371-377.
4. Мордюк В. С. О некоторых физических механизмах поглощения ультрафиолетового излучения ртутного разряда на структурных дефектах люминофора. //Материалы для источников света и светотехнических изделий — межвузовский сборник научных трудов/Саранск: из-во Мордовского университета, 1993.-с.4-10.

5. Мордюк В.С., Буряк В.В., Котлов В.А. и др. Энергосберегающие материалы для источников света.//Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники // Сб. науч. тр. Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием /Под ред. Л.В. Абрамовой.- Саранск.- СВМО, 2002. С. 97-102.

Рецензенты:

Панфилов С.А., д.т.н., заведующий кафедрой общей и теоретической электротехники ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева», г. Саранск;

Свешников В.К., д.т.н., профессор кафедры физики и методики обучения физике ФГБОУ ВПО «МГПИ им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск.