

РЕЖИМ ЗАПИСИ ГОЛОГРАММ ПРИ НАГРЕВЕ ЛАМПОЙ НАКАЛИВАНИЯ СО СТОРОНЫ ПОДЛОЖКИ

Шамшиев Т.С.

НАН КР, Бишкек, Кыргызстан, ekr.info@gmail.com

Аннотация: В статье рассмотрена задача о нагреве движущегося ленточного ФПН излучением лампы накаливания.

Ключевые слова: лампа накаливания, нагрев, фокусирующее излучение.

THE RECORDING MODE OF THE HOLOGRAM WHEN HEATED INCANDESCENT LAMP ON THE SUBSTRATE SIDE

Shamshiev T.S.

National Academy of Sciences of the KR, Bishkek, Kyrgyzstan

Annotation: The article deals with the problem of heating the driving belt FN radiation by an incandescent lamp.

Key words: incandescent light, heating, focusing radiation.

Теоретически и экспериментально исследованы записи голограмм в ФП и ФТП – носителях на подложках при лазерном нагреве с учетом температурной зависимости термических коэффициентов. Для записи информации на ФПН при нагреве излучением лампы накаливания необходимо выбрать оптимальную плотность мощности нагрева лампы, длительность времени нагрева. В связи с этим более подробно остановимся на теоретических и экспериментальных вопросах процесса ФП слоя лампы накаливания.

Структура фотополимеризующего носителя такова: она представляет собой стеклянную подложку толщиной 2 мм, на которую нанесен фотополимеризующийся слой и для защиты покрыта лапсановой пленкой. Для инфракрасной области света, начиная с длин волн 2,4 мкм, стекло является непрозрачным, а ФП слой поглощает до 10% светового излучения в инфракрасной области спектра. Предположим, что ФПН установлен в фокальной плоскости излучения лампы накаливания с регулируемой температурой нити накала –Тл. Требуется определить температурное поле на пленке зависимости от температуры нити накала –Тл, от теплофизических параметров пленки, а также от параметров оптической схемы, фокусирующей излучение лампы накаливания.

С учетом ограничений и допущений, принимаемых обычно при постановке и решение подобного рода задач, запишем систему одномерных уравнений с соответствующими граничными и начальными условиями.

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_{1,2}(x, t)}{\partial t} - a_{1,2} \frac{\partial^2 T_{1,2}(x, t)}{\partial x^2} &= \frac{q_{1,2}(x)}{\rho_{1,2} c_{1,2}} & (1) \\ T_1(x, 0) = T_2(x, 0) = T_0; \frac{\partial T_1(0, t)}{\partial x} &= 0 \\ T_1(h, t) = T_2(h, t); k_1 \frac{\partial T_1(h, t)}{\partial x} &= k_2 \frac{\partial T_2(h, t)}{\partial x}; T_2(\infty, t) = 0 \end{aligned}$$

Где α , k – температура проводности и теплопроводности соответственно; c – теплоемкость; ρ – плотность; индекс «1» относится к пленке, индекс «2» к подложке; T_0 – температура окружающей среды; координата X отсчитывается от передней поверхности пленки. Для решения (1) в нашем случае необходимо определить плотность мощности поглощенного светового потока в пленке q_1 . Предполагается равномерное распределение q_1 по толщине пленки h , а $q_2(x)=0$, т.к. пленка непрозрачна. Спектральная интенсивность излучения лампы накаливания с температурой нити накала – T_l описывается через функцию Планка $B_\lambda(T_l)$:

$$I_{p\lambda}(T_l) = \frac{c}{4\pi} B_\lambda(T_l) = \frac{2\hbar c}{\lambda^3} \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda k T_l}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

Где c – скорость света, $\hbar$ – постоянная Планка, λ – длина волны излучения. Это излучение, попадая на линзу, находящуюся на расстоянии L от источника излучения, фокусируется на поверхности пленки, расположенной на фокусном расстоянии f от линзы. Следовательно, на фокусе спектральная интенсивность излучения лампы накаливания усиливается за счет сжатия (концентрации) световых волн в малой геометрической области. Ее можно определить по следующей формуле

$$I_\lambda(T_l) = I_{p\lambda}(T_l) \frac{D(s, \Omega)}{D(s_0, \Omega_0)} \frac{d^4 L - f^4}{L^2 f^2} I_{p\lambda}(T_l) \quad (3)$$

Где d , d_0 – соответственно диаметры линзы и светового пятна на фокусе. С другой стороны, в фокусе световая волна усиливается еще за счет суперпозиции волн и полный поток поглощенной энергии в пленке определяется из выражения

$$q^1 = \int_0^\infty (1 - R_{1\lambda}) I_\lambda(T_l) d\lambda \quad (4)$$

Где $R_{1\lambda}$ – спектр отражательной способности пленки. Если учесть (3), то (4) окончательно принимает вид

$$q^1 = \frac{d^4 L - f^4}{d_0^4 L^2 f^2} \left\{ \sigma T_l^4 - \int_0^\infty R_{1\lambda} I_{p\lambda}(T_l) d\lambda \right\} \quad (5)$$

$\sigma = 5,67 \times 10^{-12}$ Вт см⁻², R – постоянная Стефана-Больцмана. Полученное выражение позволяет регулировать плотность мощности поглощенной энергии q_1 в зависимости от температуры нити накала и от геометрии оптической системы.

Спектр от отражения $R_{1\lambda}$ –, входящий в (3) для ряда металлов имеет минимум на некоторой длине λ^* . В принципе, согласно закону смещения Вина, можно определить значение температуры нити накала, при котором максимум излучения нити накаливания соответствует λ^* . В этих условиях в (5) интеграл становится минимальным и приводит к росту q_1 .

Теперь для решения краевой задачи теплопроводности (1) с тепловым источником (4) применим метод преобразования Лапласа по времени. Опуская промежуточные вычисления для лапласовского образа температуры пленки $T_1(s, x)$, в результате получим

$$T_1(x, s) = \frac{q_1}{p_1 c_1 s} \left[1 - \frac{\exp\left[\sqrt{\frac{s}{a_1}} x\right] + \exp\left[\sqrt{\frac{s}{a_2}} x\right]}{(1 - \nu) \exp\left[-\sqrt{\frac{s}{a_1}} h\right] + (1 + \nu) \exp\left[\sqrt{\frac{s}{a_2}} h\right]} + \frac{T_0}{s} \right] \quad (6)$$

Где s – параметр преобразования, $\nu = k_2 \sqrt{a_1} / k_1 \sqrt{a_2}$.

Рассмотрим случай, когда имеет место $\sqrt{s/a_1} h < 1$ и в (6) при этом условии экспоненциальные члены можно разложить в ряды. Ограничиваясь первыми тремя членами разложения для каждого ряда, для $T(x, s)$ получим

$$T_1(x, s) \cong \frac{q_1 \sqrt{a_2}}{k_2 s \sqrt{s} (1 + h \nu \sqrt{s/a_1})} + \frac{q_1}{k_1 s (1 + h \nu \sqrt{s/a_1})} \frac{h^2 - x^2}{s} \quad (7)$$

Переходя коригиналом, находим решение поставленной задачи теплопроводности

$$T_1(x, s) = \frac{q_1 \sqrt{a_2} t}{k_2} \left[\frac{2}{\sqrt{\pi}} + \psi F\left(\frac{1}{\psi}\right) \right] + \frac{q_1}{k_1} \frac{x^2 - h^2}{s (1 + h \nu \sqrt{s})} F\left(\frac{1}{\psi}\right) + T_0 \quad (8)$$

Где $\psi = \frac{\rho_1 c_1 h}{\rho_2 c_2 \sqrt{a_2} t}$ – представляет собой объемных теплоемкостей пленки и прогретого слоя подложки; $F(x) = \exp(x^2) \operatorname{erfc}(x)$ – функция дополнительного интеграла вероятности.

Полученное выражение позволяет определить температуру пленки в любой момент времени в течении импульса воздействия лампы накаливания, а также от теплофизических параметров пленки и подложки.

Нами проводились эксперименты по записи голограмм на ФПН. Температура термохимической фиксации лежит в пределах 100-170°C, при этом интенсивность светового пучка 10-25 Вт/см². Зная заранее температуру термохимической

фиксации слоя, из выражения (8) найдем плотность мощности q_1 , достаточной оптимальному нагреву ФПН

$$q_1 = \frac{T_1(x, t) - T_0}{\frac{\sqrt{a_2 t}}{k_2} \left[\frac{2}{\sqrt{\pi}} + \psi F\left(\frac{1}{\psi}\right) \right] + \frac{1}{k_2} \frac{x^2 - h^2}{h} F\left(\frac{1}{\psi}\right)} \quad (9)$$

На рис.1 приведена зависимость плотности мощности q лампы накаливания от времени нагрева фотополимеризующего слоя, рассчитанная по формуле (9).

Исходя из численных данных рисунка 1 и оптических фокусирующих систем излучения, можно выбрать параметры лампы накаливания для термохимической фиксации записанных голограмм в ФПН.

Изменяя плотность мощности потока, падающего на поверхность ФПН, фиксировали голограммы с различными диаметрами.

На рис.2 приведено радиальное распределение температуры поверхности ФП слоя в процессе нагрева ФПН при различной плотности мощности лампы накаливания.

Кривая 1 (рис.2) соответствует плотности мощности лампы 25 Вт/см^2 , а кривая 2-10 Вт/см^2 .

Результаты экспериментальных данных по записи голограмм в ФПН при термохимической фиксации излучением лампы накаливания показали, что повышается стабильность записанных голограмм.

Это, видимо, обусловлено тем, что обеспечивается равномерность нагрева поверхности ФПН.

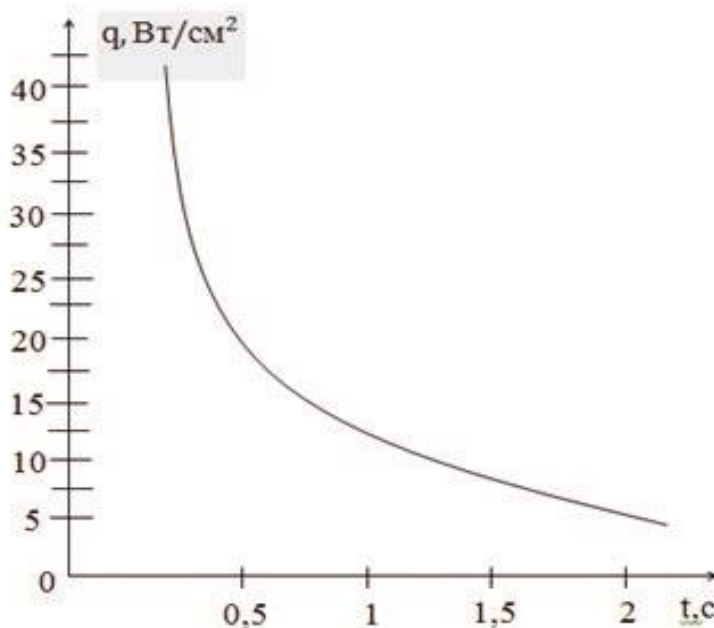


Рис. 1. Зависимость плотности мощности лампы накаливания от длительности нагрева ФП слоя OmniDex 352

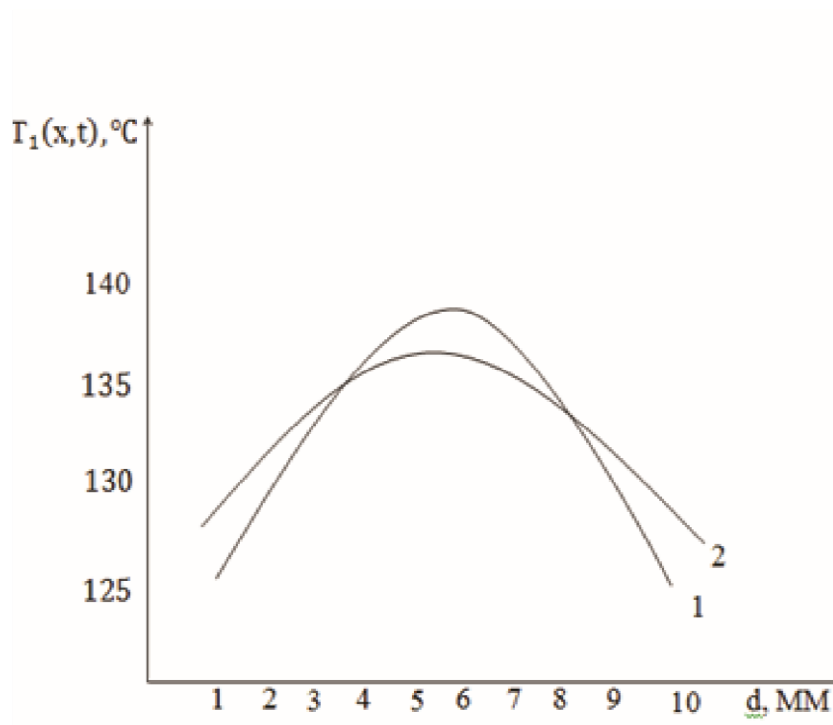


Рис. 2. распределение температуры поверхности ФПН при различных плотностях мощности лампы нагрева: кривая 1- $I=1$ Вт/см; кривая 2 – $I=10$ Вт/см.

Использованная литература

1. К расчету нагрева пленок излучением лазера. Рыкалин Н.Н., Ужасов А.А., Макаров Н.И. Физика и химия обработки материалов, 1971. – №2. – С. 3-8.
2. Баязитов Р.М., Хайбулин И.Б., Зарипов М.М. Лазерный нагрев тонких пленок на поглощательных подложках//Физика и химия обработки материалов, – М., 1979. – №2. – С. 14-17.
3. Карслов Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 487с.
4. Нагрев двухпленочной структуры излучением лазера // Григоров Ф.З. Физика и химия обработки материалов. 1977. №4. – С.14-22.
5. Запись голограмм на непрерывно движущийся фототермопластический носитель. Сорока С.И., Ратников С.И. Фундаментальные основы оптической памяти и среды. Респ.межд.вед.науч.сб. 1981. Вып.12. – С. 47-54.