

## СВЕТОИНДУЦИРОВАННЫЙ РЕЛЬЕФ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕРКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ

Окишев К.Н., Иванова Г.Д., Рекунова Н.Н.

*ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, Россия (680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47), e-mail: tmeh@festu.khv.ru*

Светоиндуцированная модуляция рельефа используется для записи оптической информации, для создания термооптических управляемых дефлекторов. В данной работе экспериментально исследовано термозеркало на основе тонкой полимерной пленки. При облучении гауссовым пучком излучения нагрев пленки приводит к образованию соответствующего рельефа на ее поверхности. Для малых интенсивностей светоиндуцированная деформация обратима. Получены зависимости оптической силы термозеркала от интенсивности падающего излучения и времени экспозиции. Предложена модель явления, в которой светоиндуцированное расширение тонкой пленки приводит к соответствующей ее деформации. Показано, что для малых деформаций можно пренебречь термоупругими напряжениями и образованный рельеф пленки имеет гауссову форму. Тепловая задача решается в предположении, что теплоотвод от поверхности пленки конвективный и теплопередача вдоль пленки пренебрежимо мала. Экспериментальные результаты в области обратимой деформации полностью описываются полученными в рамках модели зависимостями. Светоуправляемое зеркало может быть использовано в устройствах адаптивной оптики. Предложено использовать термозеркало для компенсации тепловой линзы в тонкослойных жидкофазных нелинейно-оптических элементах.

Ключевые слова: светоиндуцированный рельеф, термозеркало, адаптивная оптика.

## A LIGHT INDUCED RELIEF ON THE SURFACE OF THE MIRROR-LIKE POLIMER FILM

Okishev K.N., Ivanova G.D., Rekunova N.N.

*Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: tmeh@festu.khv.ru*

A light induced relief modulation is used to record optical information and to create the managed thermo-optical deflectors. In this paper it was investigated experimentally a thermo-mirror based on a thin polymer film. The heating of the film by the Gaussian beam of radiation leads to the formation of the relief on its surface. The light induced deformation is reversible for small intensities. The thermo-mirror optical power dependences on radiation intensity term and exposure time were received. The model of the phenomenon was proposed, in which light induced thin film extension leads to its appropriate deformation. It was showed that small deformations can be neglected and thermo elastic strains formed film as the Gauss relief form. The heat task is done under the assumption that the heat sink from the surface film is convective and heat transfer along the film is negligible. The generated model dependencies describe fully the experimental results of a reversible deformation. The light-control mirror can be used in adaptive optics. It was suggested to use a thermo-mirror for compensation of thermal lenses in thin-layer liquid-phase nonlinear-optical elements.

Keywords: light induced relief, thermo-mirror, adaptive optics.

Исследование деформаций, индуцированных в твердом теле лазерным излучением, проводятся достаточно активно в рамках изучения физики взаимодействия световых полей с веществом [1]. Зеркальные пленочные структуры, в которых под действием интенсивного излучения происходит термоиндуцированное рельефообразование, могут быть основой создания микромеханических устройств для защиты оптико-электронных приборов и систем от поражающего лазерного излучения. Известно применение фазовой рельефографии для записи оптической информации, а также в динамической голографии [5]. Это делает актуальным исследование светоиндуцированных механизмов модуляции рельефа [1-3].

### Цель исследования

В данной работе исследован механизм образования рельефа на поверхности полимерной пленки, обусловленный тепловой деформацией пленки при ее нагреве падающим излучением. В экспериментах использовалась полимерная пленка толщиной 80 мкм, с коэффициентом зеркального отражения вблизи нормального угла падения 6% и коэффициентом пропускания света 0,25%. В результате воздействия падающего на пленку излучения гелий-неонового лазера (мощность – 60 мВт, длина волны  $\lambda=633$  нм) на поверхности пленки возникала область с выпуклой отражающей поверхностью (рис. 1).

Отраженный пучок значительно увеличивал свою расходимость, что регистрировалось на экране (рис. 2).

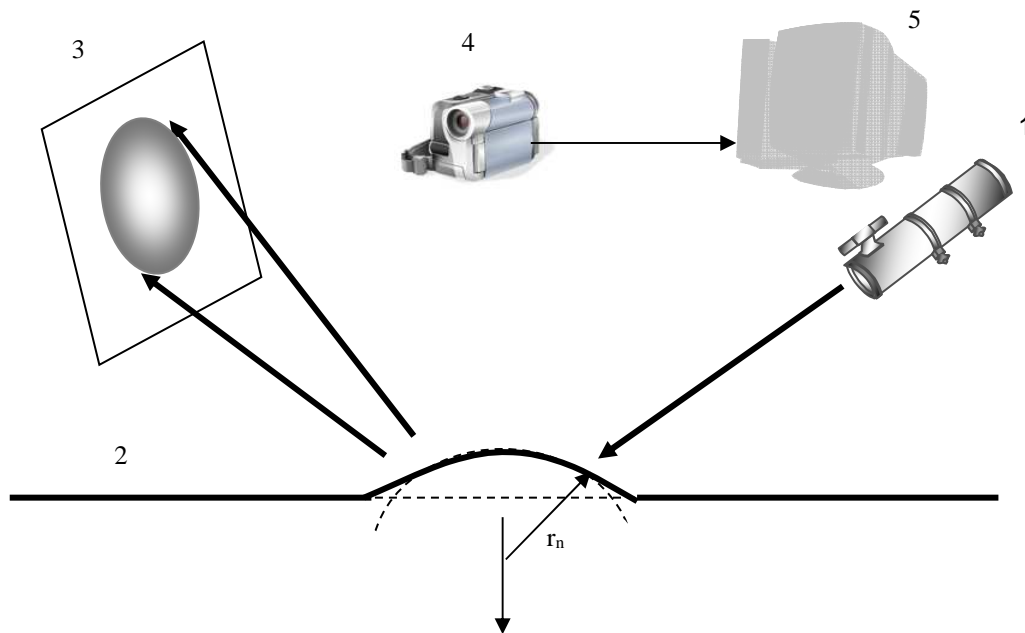


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – лазер; 2 – полимерная пленка; 3 – экран; 4 – фотокамера; 5 – персональный компьютер

Оптическая сила  $D$  образованного под воздействием луча лазера сферического зеркала рассчитывалась по следующей формуле:

$$D = \frac{2}{r_n} = \frac{a - a_0}{la_0}, \quad (1)$$

где  $r_n$  – радиус кривизны поверхности,  $a$  – радиус пучка на экране,  $a_0$  – исходный радиус пучка.

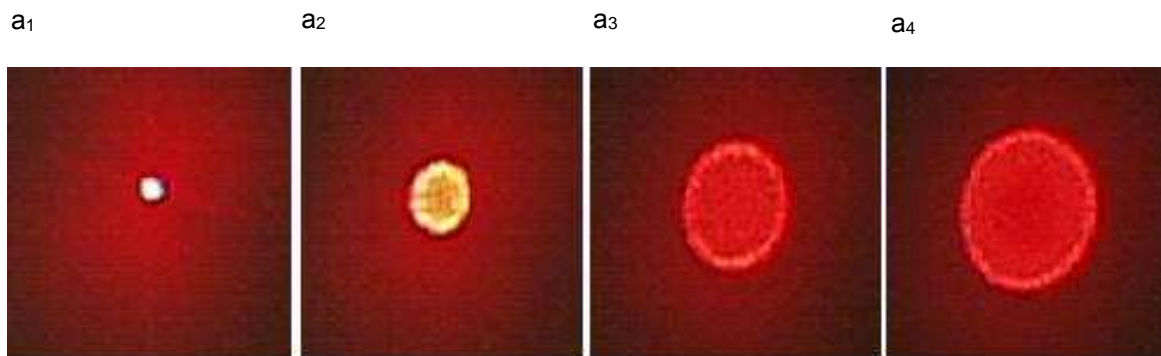


Рис. 2. Самовоздействие излучения He-Ne лазера при отражении от поверхности полимерной пленки:  $a_1$ - $a_4$  – фотографии пятна на экране (временной интервал между кадрами 0,5 с)

По полученным экспериментальным значениям построен график зависимости величины  $D$  от времени (рис. 3) и от интенсивности падающего излучения (рис. 4). В области больших интенсивностей (более 20 мВт) деформация приобретает необратимый характер (что видно на последнем рисунке как резкое возрастание оптической силы). В то же время для малых интенсивностей остаточная деформация не регистрировалась после тысячи циклов нагрева.

### Теоретическая модель термозеркала

Рассмотрим простейшую модель термозеркала, в которой светоиндуцированное расширение тонкой пленки приводит к соответствующей ее деформации, при этом для малых деформаций можно пренебречь термоупругими напряжениями.

Решим сначала тепловую задачу в предположении, что теплоотвод от поверхности пленки конвективный и теплопередача вдоль пленки пренебрежимо мала. Тогда задача становится одномерной:

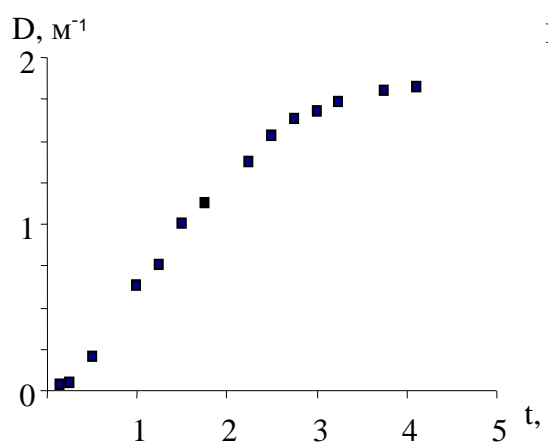


Рис. 3. Зависимость оптической силы термозеркала от времени

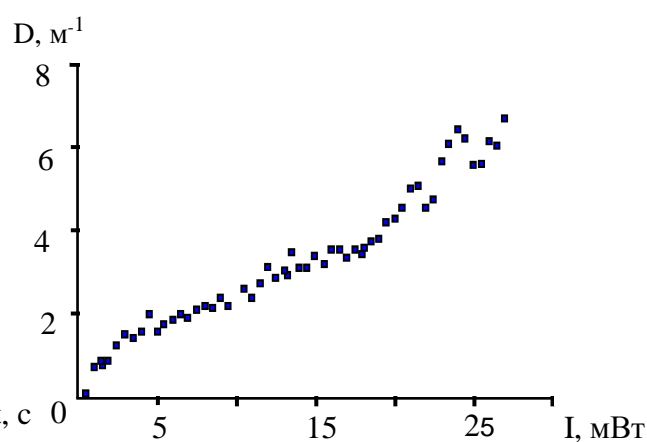


Рис.4. Зависимость оптической силы термозеркала от интенсивности пучка

$$c_p \rho d \frac{\partial T}{\partial t} = -2k(T - T_e) + (1 - R_\phi) I_0 e^{-\frac{r^2}{a_0^2}}, \quad (2)$$

где  $C_p$  – удельная теплоемкость материала пленки,  $\rho$  – плотность материала,  $d$  – толщина пленки,  $k$  – коэффициент конвективной теплоотдачи,  $T_e$  – температура воздуха,  $R_\phi$  – коэффициент френелевского отражения,  $I_0 e^{-r^2/a_0^2}$  – поперечное распределение интенсивности падающего на пленку гауссова пучка,  $a_0$  – радиус гауссова пучка. Считаем пленку тонкой, так что температура ее на противоположных гранях одинакова.

Решение (2) выглядит следующим образом:

$$T(r, t) = T_e + \frac{(1 - R_\phi) I_0 e^{-\frac{r^2}{a_0^2}}}{2k} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (3)$$

где  $\tau = (c_p \rho d) / 2k$  – время тепловой релаксации.

Высоту деформации пленки в отсутствие термоупругих напряжений можно аппроксимировать следующим выражением:

$$h = a_0 \sqrt{\alpha \Delta T}, \quad (4)$$

где  $h$  – высота рельефа,  $\alpha$  – коэффициент линейного теплового расширения материала,  $\Delta T$  – разность температур пленки в поле излучения и начальной.

Оптическая сила сферического зеркала связана с радиусом его кривизны, для которой из (2-4) в стационарном режиме можно получить выражение:

$$C = a_0^{-1} \left[ \frac{(1 - R_\phi) I_0}{2k} \right]^{0.5}. \quad (5)$$

Оценки времени установления температуры и характер зависимости кривизны пленки от интенсивности соответствуют экспериментальным величинам, что подтверждает правомерность применения предложенной модели. Температура нагретой пленки регистрировалась термографом. Для экспериментальных значений  $\Delta T = 20^0$  К,  $\alpha \approx 10^{-5}$  К<sup>-1</sup>,  $a_0 = 0.002$  м, получим  $r_n \approx 1$  м<sup>-1</sup>, что также соответствует эксперименту.

## Выводы

Таким образом, предложенная модель адекватно описывает основные стороны исследуемого явления. Значительная эффективность рассмотренного механизма образования рельефа делает его перспективным для разработки оптических дефлекторов, нелинейно-оптических преобразователей пространственной структуры излучения [1], а также для применения в оптических методах диагностики материалов [2-5]. Такое светуправляемое зеркало может служить адаптивным элементом в различных оптических приборах. Зеркальные пленочные структуры могут быть использованы для компенсации тепловой линзы в устройствах нелинейной оптики на основе тонкослойных жидкофазных сред [6-10].

### Список литературы

1. Иванов В.И. Термоиндуцированные механизмы записи динамических голограмм. Монография.- Владивосток: Дальнаука, 2006.-143 с.
2. Иванов В.И., Иванова Г.Д., Хе В.К. Влияние термодиффузии на термолинзовый отклик жидкофазной дисперсной среды// Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов, межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В. М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2013. – Вып. 5. - С. 112-115.
3. Иванов В.И., Илларионов А.И., Коростелева И.А. Обращение волнового фронта непрерывного излучения в условиях сильного самовоздействия //Письма в "Журнал технической физики".- 1997. -Т. 23.- №15.- С. 60-63.
4. Иванов В.И., Кузин А.А., Окишев К.Н. Оптическая левитация наночастиц: монография. - Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008.- 105 с.
5. Иванов В.И., Ливашвили А. И., Брюханова Т. Н., Рекунова Н. Н. Пространственно-временные характеристики термоиндуцированного механизма записи рельефных динамических голограмм// Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2011. – № 1. – С.065-068.
6. Иванов В.И., Ливашвили А.И. Электрострикционный механизм самовоздействия излучения в жидкости с наночастицами// Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика.- 2009. - Т. 4. - № 2. - С. 58-60.
7. Иванов В.И., Ливашвили А.И., Окишев К.Н. Термодиффузионный механизм изменения оптического пропускания двухкомпонентной среды // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2008. – Том 51. - № 3. – С. 50-53.
8. Иванов В.И., Окишев К.Н., Карпец Ю.М., Ливашвили А.И. Термодиффузионный механизм просветления двухкомпонентной среды лазерным

излучением // Известия Томского политехнического университета.- 2007. -Т. 311.- № 2. - С. 39-42.

9. Ливашвили А.И., Иванова Г.Д., Хе В.К. Стационарный термолинзовый отклик наножидкости// Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов, межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В. М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2014. – Вып. 6. - С. 227-230.

10. Окишев К.Н. Термодиффузионный механизм нелинейного поглощения суспензии наночастиц / К.Н. Окишев, В.И. Иванов, С.В. Климентьев, А.А Кузин, А.И. Ливашвили // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23. – № 2. – С. 106-107.

**Рецензенты:**

Карпец Ю.М., д.ф.-м.н., профессор по кафедре физики, профессор кафедры физики и теоретической механики ФГБОУ ВПО Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск;

Криштоп В.В., д.ф.-м.н., профессор по кафедре физики, проректор по учебной работе ФГБОУ ВПО Дальневосточный государственный университет путей сообщения Министерства транспорта РФ, г. Хабаровск.