

29. Формирование дифракционных микроструктур в тонких пленках карбазолсодержащего азополимера

Н. А. Ивлиев, В. В. Подлипнов, С. Н. Хонина

¹ Институт систем обработки изображений РАН — филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, Самара, Россия

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, Россия

В работе проводится экспериментальное и теоретическое исследование формирования дифракционных микроструктур в тонких пленках карбазолсодержащего азополимера. Запись микроструктур происходила однопучковой записью сфокусированным излучением линейно-поляризованного лазера с длиной волны 405 нм. В процессе записи изменялась интенсивность и длительность излучения. Сформированные поверхностные микроструктуры измерялись сканирующим зондовым микроскопом. Изображения этих микроструктур приведены. Для оценки сил действующих на молекулы азополимера использовался расчет плоскости силы, зависящей от поляризации излучения.

Ключевые слова: Азополимер, Оптические силы, Оптическая запись материалов.

Цитирование: Ивлиев, Н. А . Формирование дифракционных микроструктур в тонких пленках карбазолсодержащего азополимера / Н. А. Ивлиев, В. В. Подлипнов, С. Н. Хонина // HOLOEXPO 2020 : XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. — С. 177–180.

Введение

Одним из перспективных подходов в реализации управляемых дифракционных оптических элементов является применение азополимерных материалов, отличительная особенность которых от других фоточувствительных полимеров является обратимая трансцисфотомеризация азохромофоров, сопровождаемая молекулярной переориентацией, что позволяет динамически изменять распределение его амплитудно-фазового пропускания.

В настоящее время разработаны методы записи на различных азополимерных материалах как периодических голографических структур так одиночных микронеровностей, массив из которых может реализовывать кодирование заданного амплитудно-фазового распределения. Ключевым для реализации такой технологии является исследование свойств и создание моделей, описывающих поведение азополимерных материалов под воздействием оптического излучения. Не смотря на то, что первоначальные исследования были сделаны уже в 70–80-х годах [1, 2] в настоящий момент интерес к таким материалам продолжает расти в связи с потенциальным перспективным применением их в области создания оптически управляемых оптических элементах [3].

Для создания физических моделей описывающих поведение оптически управляемых структур на основе азополимеров важно исследование химической технологии изготовления

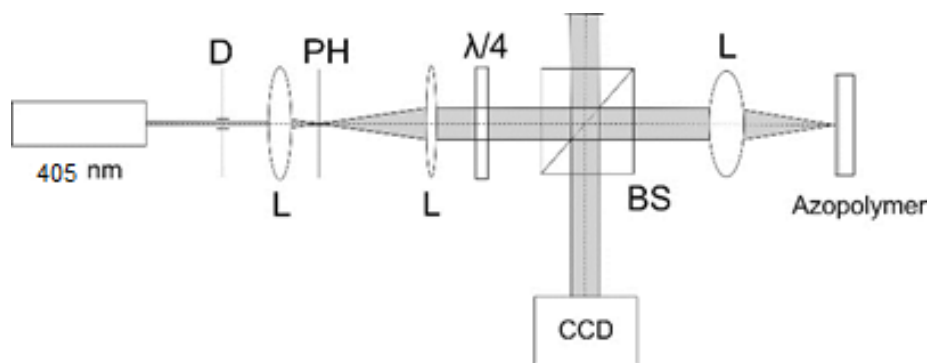


Рис. 1. Оптическая установка для формирования микроструктур в пленках азополимера гауссовыми пучками

полимера, исследование взаимодействия оптического поля и сил приводящих к подвижности полимера, исследование кинетики процессов формирования рельефа, релаксационных свойств и деградации свойств со временем [4, 5].

В работе [6] нами также исследовались процессы формирования микрорельефа под воздействием лазерного пучка длиной волны 532 нм в пленке азополимера, полученного сополимеризацией органического полупроводника poly-n-ерохурпроyl carbazole с азокрасителем Disperse Orange 3 [7]. Полученные микроструктуры отличаются сложной формой и характеризуются нелинейной зависимостью высоты от дозы излучения. Процессы массопереноса в этом случае трудно поддаются физико-математическому описанию, что объясняется наличием эффектов поглощения как самого материала, так и азохромофорной группы при такой длине волны [8]. Поэтому в настоящей работе исследовалось формирование микроструктур под воздействием лазерного пучка длиной волны 405 нм. При такой длине волны лазера азохромофорная группа имеет максимальное поглощение, тогда как поглощением карбазольной основы можно пренебречь.

1. Методика эксперимента

В экспериментальных исследованиях был использован одномодовый лазер с линейной поляризацией с длиной волны 405 нм. Управление интенсивностью осуществлялось плавно с шагом 0,1 мВт. Лазерное излучение, проходя через диафрагму D, расширялось коллиматором, состоящим из двух линз L и пинхола PH. Четвертьволновая пластина $\lambda/4$ применялась для управления состоянием поляризации пучка. Для управления положением сфокусированного на образце лазерного пятна был использован делитель пучка и высокоскоростная камера.

Образец помещался в фокусе линзы, где осуществлялась запись единичных микронеровностей воздействием лазерных пучков с линейной поляризацией. Время записи изменялось в диапазоне 5–60 с.

После записи сформированный микрорельеф измерялся с помощью сканирующего зондового микроскопа NT-MDT Solver Pro-M.

Изображения поверхностного микрорельефа, образованные в результате воздействия сфокусированных гауссовых пучков с эллиптической поляризацией, показаны на рисунке 2.

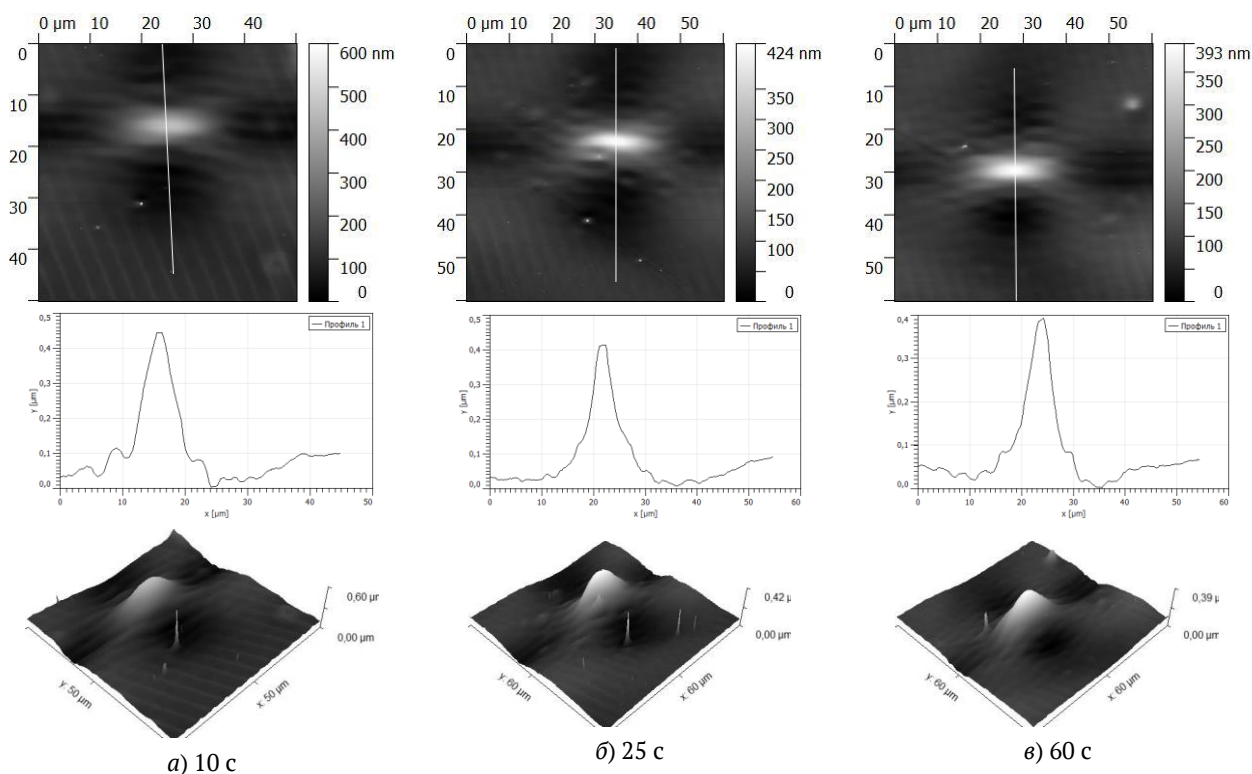


Рис. 2. Микроструктуры, полученные воздействием линейно-поляризованного лазерного пучка при разном времени облучения

Табл. 2. Плотность силы с учетом поляризационного состояния для парааксиального Гауссова пучка

Тип поляризации	Плотность силы (24) $ F_{px} , F_{py} , F_{pz} , F_p $	Дивергенция $\text{Re}(\nabla \mathbf{F}_p)$	Ротор $ \nabla \times \mathbf{F}_p $
Линейная x-поляризация			
Линейная y-поляризация			
Круговая поляризация			

2. Результаты исследования

Результаты формирования микроструктур, полученные воздействием линейно-поляризованного лазерного пучка мощностью 6,8 мВт при различном времени облучении представлены на рисунке 2а–2в.

Как видно в фокусе линзы под воздействием лазерного излучения с линейной поляризацией происходит формирование выпуклостей выше среднего уровня высоты полимера, тогда как в областях вблизи этого возвышения образуются 4 углубления.

Для анализа происходящего нами также ранее было проведено исследование, которое подробно описано в работе [9]. В таблице 1 приведены результаты этого моделирования для описания сил действующий на молекулы азополимера.

Заключение

В работе проведены исследования формирования микрорельефа однопучковой записью сфокусированным лазерным излучением на длине волны 405 нм. Были проведены исследования сформированного микрорельефа, а также оценка влияния оптических сил. Сформированные структуры хорошо описываются распределением в области фокуса суперпозиции дивергенции и ротора плотности силы.

Благодарность

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (грант № 18-07-01470) в части формирования структуры на поверхности азополимера.

Список источников

- [1] **Blair, H. S.** Photoresponsive effects in azo polymers / H. S. Blair, H. I. Pague, J. E. Riordan // *Polymer*. — 1980. — Vol. 21. — № 10. — P. 1195–1198.
- [2] **Laverty, J. J.** Poly (vinyl chloride)–poly (ethylene oxide) block copolymers: Synthesis and characterization / J. J. Laverty, Z. G. Gardlund // *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*. — 1977. — Vol. 15. — № 8. — P. 2001–2011.
- [3] **Yager, K. G.** All-optical patterning of azo polymer films / K. G. Yager, C. J. Barrett // *Current opinion in solid state and materials science*. — 2001. — Vol. 5. — № 6. — P. 487–494.
- [4] **Oscurato, S. L.** Light-driven wettability tailoring of azopolymer surfaces with reconfigured three-dimensional posts / S. L. Oscurato, F. Borbone, P. Maddalena, A. Ambrosio // *ACS applied materials & interfaces*. — 2017. — Vol. 9. — № 35. — C. 30133–30142.
- [5] **Meshalkin, A.** Direct photoinduced surface relief formation in carbazole-based azopolymer using polarization holographic recording / A. Meshalkin, S. Robu, E. Achimova, A. Prisacar, D. Shepel, V. Abaskin, G. Triduh // *Journal of optoelectronics and advanced materials*. — 2016. — Vol. 18. — № 9–10. — P. 763–768.
- [6] **Подлипов, В. В.** [Исследование фотоиндуцированного формирования микроструктур на поверхности карбазолсодержащего азополимера в зависимости от плотности мощности освещающего пучка](#) / В. В. Подлипов, Н. А. Ивлиев, С. Н. Хонина, Д. В. Нестеренко, В. С. Васильев, Е. А. Акимова // *Компьютерная оптика*. — 2018. — Vol. 42. — № 5. — P. 779–785. — DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-5-779-785.
- [7] **Andries, A.** Application of carbazole-containing polymer materials as recording media / A. Andries, V. Abaskin, E. Achimova, A. Meshalkin, A. Prisacar, S. Sergheev, L. Vlad // *Physica status solidi (A)*. — 2011. — Vol. 208. — № 8. — P. 1837–1840.
- [8] **Wu, Y.** Three-Dimensional Manipulation of an Azo Polymer Liquid Crystal with Unpolarized Light / Y. Wu, T. Ikeda, Q. Zhang // *Advanced Materials*. — 1999. — Vol 11. — № 4. — C. 300–302.
- [9] **Хонина, С. Н.** Анализ характеристик параксиальных векторных гауссовых пучков, влияющих на формирование микроструктур в азополимере / С. Н. Хонина, С. И. Харитонов, С. Г. Волотовский, В. В. Подлипов, Н. А. Ивлиев // *Компьютерная оптика*. — 2019. — Vol. 43. — № 5.