

Модификация оптических свойств халькогенидных пленок ближним ИК лазерным излучением

А. А. Ольхова, А. А. Патрикеева, М. А. Дубкова, П. П. Омельченко, Б. Г. Шульга,
М. М. Сергеев

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

В работе показано влияние лазерного облучения халькогенидных пленок PbSe на их оптические характеристики в результате необратимой модификации структуры. Исследованы особенности модификации структуры и свойств пленок под действием наносекундных лазерных импульсов с длиной волны 1064 нм. Применение лазерных импульсов ближнего инфракрасного диапазона (ИК) обеспечивало модификацию структуры пленки при плотности мощности 2,4–18,2 МВт/см² и длительности импульсов от 4 до 50 нс. Исследованы характеристики лазерного источника, в частности температура лазерного пучка и его влияние на физический механизм модификации структуры пленки. Сканирование лазерным пятном в указанных режимах обеспечивает желаемое изменение оптических характеристик пленки, и это становится серьезной альтернативой технологии тепловой обработки в печи.

Ключевые слова: Лазерная модификация, Пленки PbSe, Оптические характеристики, Режим потемнения, Режим просветления, Тепловая обработка, Лазерные импульсы.

Цитирование: Ольхова, А. А. Модификация оптических свойств халькогенидных пленок ближним ИК лазерным излучением / А. А. Ольхова, А. А. Патрикеева, М. А. Дубкова, П. П. Омельченко, Б. Г. Шульга, М. М. Сергеев // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 450–453.

Введение

Халькогенидные пленки часто используются в качестве фотоизлучателей в ближнем и среднем инфракрасном диапазоне, а также в виде фотодатчиков [1]. Выбор пленок PbSe в качестве фотодетектора обусловлен тем, что такие материалы обладают высокой фоточувствительностью в диапазоне 1–5 мкм [2, 3], работоспособности при комнатной температуре, дешевы в производстве и обладают низким сопротивлением. Такие структуры на основе PbSe широко применяются для фотодетекторов в среднем ИК диапазоне спектра, для солнечных элементов, а также применяется для микроаналитики органических молекул в виде газовой смеси или жидкости [4].

Применение лазерного облучения позволяет осуществить локальную модификацию структуры и, вместе с этим, прогнозируемое изменение оптических и электрических характеристик пленок, тем самым корректируя фоточувствительность материала в определенном спектральном диапазоне.

1. Основная часть

В представленной работе изменение оптических характеристик образца проводилось за счет модификация структуры халькогенидных пленок PbSe наносекундными лазерными

импульсами ИК излучения. Лазерная обработка пленок PbSe в режиме построчного сканирования приводила к размягчению и перераспределению материала пленки (рисунок 1), и в случае увеличения длительности импульсов – к образованию аморфной оксидной фазы на поверхности образца (рисунок 2). Кроме того, получены оптические характеристики образцов в ближнем и среднем ИК диапазоне, которые свидетельствуют об уменьшении отражения и/или пропускания в диапазонах длин волн, которые соответствуют пикам поглощения газов CO, NO, NO₂ и HNO₃.

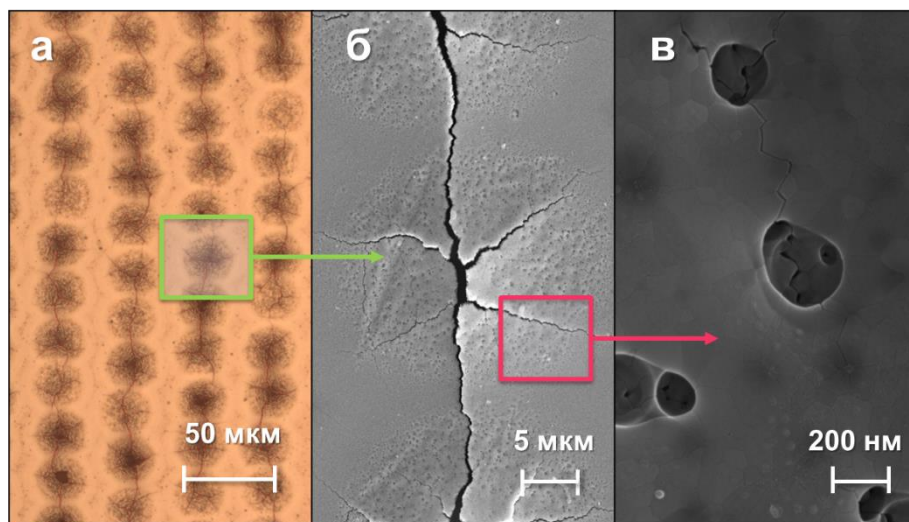


Рис. 1. Снимки пленки PbSe после модификации в режиме потемнения, полученные с помощью оптической микроскопии: в светлом поле отраженного света (а). Снимки пленки PbSe, полученные с помощью детектора вторичных электронов СЭМ (б, в).

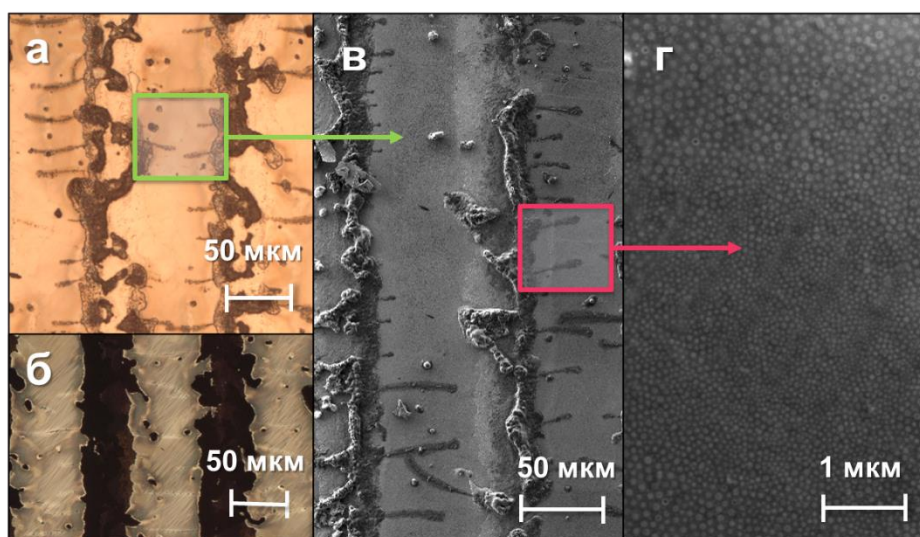
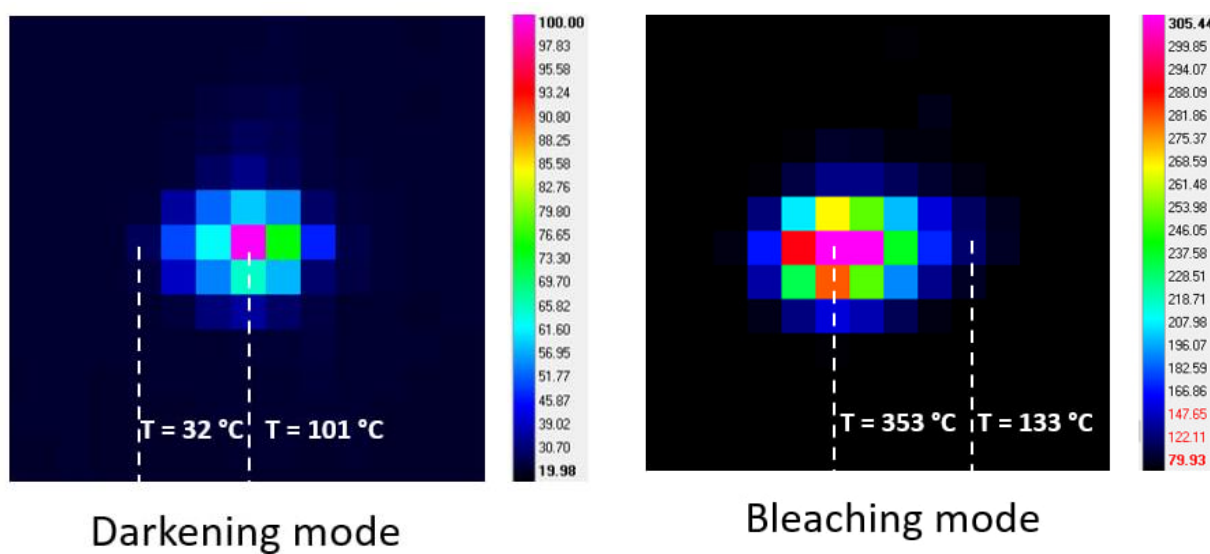


Рис. 2. Снимки пленки PbSe после модификации в режиме просветления, полученные с помощью оптической микроскопии: в светлом поле отраженного света (а), в поле прошедшего света (б). Снимки пленки PbSe, полученные с помощью детектора вторичных электронов СЭМ (в, г).

При достаточно низких температурах происходят изменения в структуре и свойствах материала, такие как кристаллическая решетка и оптические константы. Это позволяет получать новые физические свойства и улучшать характеристики материала. Контролируемая локализация и масштабируемость процесса являются преимуществами лазерной модификации при низкой температуре. На рисунке 3 видно, что в ходе лазерной модификации значение температуры в области лазерного пучка не превышает 353 °С для режима просветления и 102 °С для режима потемнения. Процессы, связанные с просветлением пленки, как и предполагалось протекают при более высоких температурах, нежели потемнение пленки.



а) режим потемнения

б) режим просветления

Рис. 3. Тепловизионные изображения лазерного пучка при лазерной модификации импульсным излучением: режим потемнения (а), режим просветления (б).

Заключение

Полученные результаты показывают, что модификация пленок импульсным лазерным излучением является перспективным направлением для улучшения оптических характеристик в ближнем и среднем ИК диапазоне. В дальнейшем возможно применение обработанных халькогенидных пленок в качестве датчиков органических веществ, а также в приложении газового анализа.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского Научного Фонда (№ 23–29–10081) и гранта УМНИК.ФОТОНИКА.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Ma, X.** In situ monitoring of Pb²⁺ leaching from the galvanic joint surface in a prepared chlorinated drinking water / X. Ma, S. M. Armas, M. Soliman, D. A. Lytle, K. Chumbimuni-Torres, L. Tetard, W. H. Lee // *Environmental science & technology*. – 2018. – Vol. 52. – №. 4. – P. 2126-2133. DOI: 10.1021/acs.est.7b05526.
- [2] **Tan, C. L.** Mohseni H. Emerging technologies for high performance infrared detectors /Tan, Chee Leong, and Hooman Mohseni // *Nanophotonics*. – 2018. – Т. 7. – №. 1. – P. 169-197. DOI:10.1515/nanoph-2017-0061
- [3] **Karim, A.** Infrared detectors: Advances, challenges and new technologies / Karim A., Andersson J. Y. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2013. – Vol. 51. – №. 1. – P. 012001. DOI:10.1088/1757-899X/51/1/012001
- [4] **Kasiyan, V.** Infrared detectors based on semiconductor p-n junction of PbSe/ Kasiyan, V., Dashevsky, Z., M. Schwarz, C., Shatkhin, M., Flitsiyan, E., Chernyak, L., & Khokhlov, D.// – 2012. DOI: 10.1063/1.4759011

Chalcogenide films optical properties modification by NIR laser radiation

A. Olkhova, A. A. Patrikeeva, M. A. Dubkova, P. P. Omelchenok, B. G. Shulga, M. M. Sergeev
National Research University ITMO, St. Petersburg, Russia

The paper shows the effect of laser irradiation of PbSe chalcogenide films on their optical characteristics as a result of irreversible modification of the structure. The features of the modification of the structure and properties of films under the action of nanosecond laser pulses with 1064 nm wavelength have been studied. The use of near infrared (NIR) laser pulses ensured the modification of the film structure at a power density of 2.4–18.2 MW/cm² and a pulse duration of 4 to 50 ns. The characteristics of the laser source, in particular, the temperature of the laser beam and its effect on the physical mechanism of modification of the film structure, are studied. Scanning with a laser spot in these modes provides the desired change in the optical characteristics of the film, and this becomes a serious alternative to the technology of heat treatment in an oven.

Keywords: Laser modification, PbSe films, Optical characteristics, Darkening mode, Bleaching mode, Heat treatment, Laser pulses.