

ФОРМИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР НА КРИСТАЛЛАХ GaSe В КАЧЕСТВЕ ПРОСВЕТЛЯЮЩИХ МИКРОСТРУКТУР

С. О. Гурбатов^{1,2}, ✉Ю. М. Бородаенко¹, Д. В. Павлов¹, Е. В. Мицай¹,
А. П. Елисеев^{3,4}, С. И. Лобанов^{3,4}, Л. И. Исаенко^{3,4}, А. А. Кучмижак^{1,2}

¹ *Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия*

² *Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия*

³ *Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

⁴ *Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия*

✉serbm@mail.ru

Использование нелинейных полупроводниковых кристаллов GaSe перспективно для исследований в области нелинейной оптики, метрологии и спектроскопии [1], поскольку они имеют необходимые свойства для преобразования лазерного излучения в среднем и дальнем ИК: высокая лучевая прочность, высокие нелинейные коэффициенты, широкий диапазон фазового синхронизма и прозрачности. Однако данные кристаллы обладают значительными потерями на отражение из-за высокого показателя преломления GaSe, что является существенным недостатком [1]. Известный метод нанесения просветляющих покрытий для снижения потерь на отражение на GaSe малоэффективен из-за проблем с адгезией тонкопленочных покрытий и их низкой лучевой стойкостью. Альтернативный подход — изготовление просветляющих структур непосредственно на поверхности кристалла.

Технологии лазерного микроструктурирования поверхности с использованием коротких фемтосекундных (фс) импульсов обеспечивают простой и экономически оправданный способ формирования так называемых лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур (ЛИППС), которые позволяют добиться уменьшения отражения в широком спектральном диапазоне [2]. В данной работе впервые исследуется возможность создания ЛИППС на поверхности кристаллов GaSe, а также применение таких структур в качестве антиотражающих покрытий кристалла.

ЛИППС были изготовлены на поверхности кристалла GaSe толщиной 2 мм с использованием лазерного излучения (длительность импульса 200 фс, длина волны 515 нм, частота следования импульсов 1 кГц), сфокусированного в пятно с плоским профилем распределения интенсивности в виде полоски с размерами 50 × 1 мкм². Данное распределение интенсивности получено с помощью метода проекционной литографии. Варьирование энергии импульса и скорости сканирования пучком поверхности кристалла позволяет изменять период ЛИППС в диапазоне от 200 до 450 нм, их ориентацию и базовую микро- и нанощероховатость поверхности. Создание ЛИППС обусловлено формированием периодического распределения интенсивности на поверхности кристалла, связанного с интерференцией падающего излучения и плазмон-поляритонных волн, распространяющихся в приповерхностном слое фотовозбужденного материала GaSe. Вариация энергии в импульсе приводит к изменению диэлектриче-

ской проницаемости фотовозбужденного приповерхностного слоя GaSe, что обуславливает перестройку периода ЛИПСС, связанного с интерференционными эффектами.

Спектроскопия комбинационного рассеяния (КР, длина волны накачки 473 нм) участков ЛИПСС указывает на наличие в приповерхностном слое избыточного количества аморфного селена и соединения Ga_2Se_3 (пики КР ~ 251 и 150 см^{-1} соответственно (рис. 1, б, в)), что свидетельствует об характере лазерной абляции GaSe посредством термического разложения структуры кристалла с удалением имеющего сверхнизкую температуру плавления галлия из области облучения. Интенсивные пики КР на частотах $133, \sim 307, \sim 212\text{ см}^{-1}$ связаны с объемным материалом GaSe.

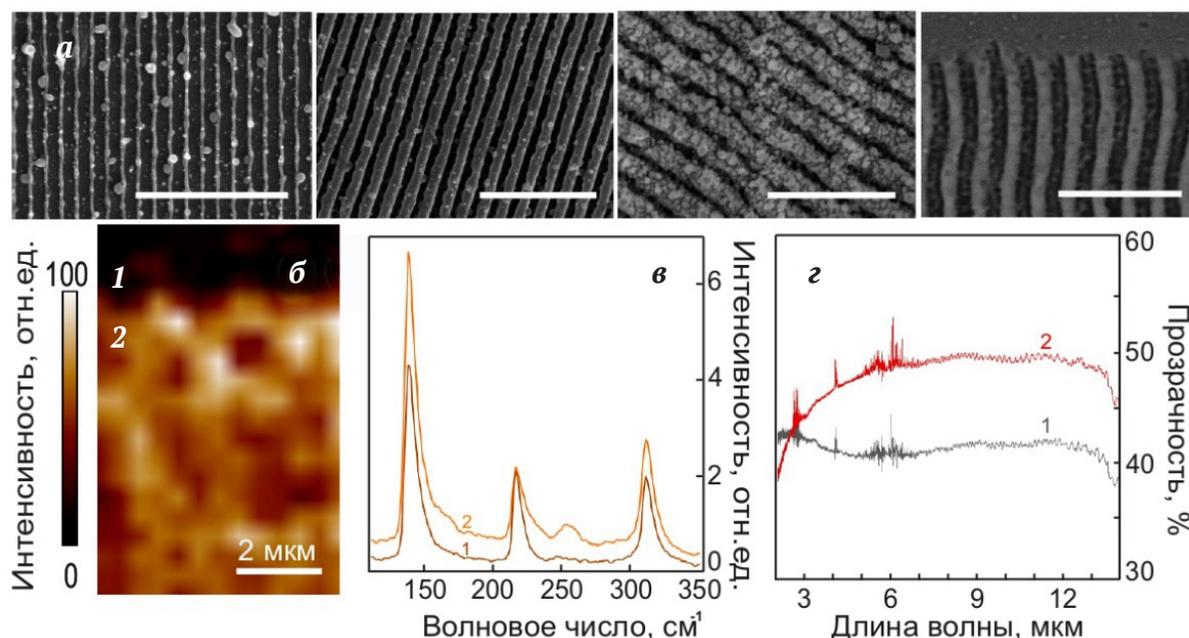


Рис. 1. Серия СЭМ-снимков, иллюстрирующих морфологию ЛИПСС, сформированных при различных режимах лазерной обработки. Масштаб шкалы 2 мкм: б — карта распределения сигнала пика комбинационного рассеяния $\sim 251\text{ см}^{-1}$, соответствующего аморфному Se ($\sim 251\text{ см}^{-1}$), снятая на границе между ровной и текстурированной лазером областями; в — усредненные спектры комбинационного рассеяния, а также спектры пропускания ровного (1) и текстурированного лазером участка, содержащего ЛИПСС (2)

Сравнительные спектры пропускания участков ЛИПСС и ровных участков кристалла показаны на рис. 1, г и демонстрируют увеличение среднего коэффициента пропускания для кристалла с ~ 42 до 50% в диапазоне $5\text{--}13\text{ мкм}$, при этом увеличение пропускания наблюдается в диапазоне $> 3\text{ мкм}$. Проведенные исследования указывают на перспективность использования ЛИПСС в качестве просветляющих покрытий микрокристаллов GaSe и в среднем ИК-диапазоне.

Список литературы

1. Bushunov A. A., Teslenko A. A., Tarabrin M. K. et al. Fabrication of antireflection microstructures on the surface of GaSe crystal by single-pulse femtosecond laser ablation // Opt. Lett. 2020. Vol. 45 (21). P. 5994–5997.
2. Vorobyev Y., Guo C. Effects of nanostructure-covered femtosecond laser-induced periodic surface structures on optical absorptance of metals // Appl. Phys. A. 2007. Vol. 86 (3). P. 321–324.