

ВЛИЯНИЕ ДИФФУЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ НА ПОРОГ ОПТИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ДИФОСФИДА ЦИНКА-ГЕРМАНИЯ

Н. Юдин, ✉М. Зиновьев, В. Кузнецов, Е. Слюнько, В. Воеводин, А. Лысенко,
А. Кальсин, Л. Шаймерденова, Х. Баалбаки, В. Калыгина

*Лаборатория радиофизических и оптических методов исследования окружающей среды,
Национальный научно-исследовательский
Томский государственный университет, Томск, Россия
Институт сильноточной электроники, Томск, Россия*

✉mucha9229@gmail.com

Тройное соединение дифосфид цинка-германия (далее — ZGP), кристаллизующееся в структуре халькопирит с точечной группой $42m$ [1], обладает высокой теплопроводностью $05 \text{ Вт / см} \cdot \text{К}$, двулучепреломлением, достаточным для фазового согласования, высоким порогом оптического пробоя и твердостью [3–5]. Потенциал нелинейно-оптических кристаллов ZnGeP_2 максимально реализуется в параметрических генераторах света, преобразующих лазерное излучение с длиной волны вблизи $2,1 \text{ мкм}$ в излучение, перестраиваемое в области $3\text{--}8 \text{ мкм}$ [6, 7]. В настоящее время данных о влиянии диффузионного легирования различными химическими элементами на порог оптического пробоя ZGP очень мало.

Целью данной работы является исследование влияния диффузионного легирования ZGP, такими химическими элементами как Mg, Se, Ca на порог оптического пробоя (LIDT) на длине волны $2,1 \text{ мкм}$.

Для исследований использовался монокристалл ZGP, из которого было вырезано 8 образцов с ориентацией (100) и размерами $5 \times 5 \times 2,45 \text{ мм}^3$. На предварительно отполированные грани образцов термическим способом производилось распыление, следующих химических элементов: Mg, Se, Ca (толщина напыляемой пленки составляла 1 мкм). После чего производился отжиг образцов ZGP с нанесенными пленками и двух контрольных образцов без напыления в запаянной вакуумированной ампуле, в которую добавлялась навеска порошка ZGP, при температурах 650°C для одного набора образцов и при 750°C для другого аналогичного набора в течение 180 часов .

Далее производилось измерение порога оптического пробоя полученных образцов ZGP. В качестве источника излучения использовался Ho: YAG-лазер, генерирующий излучение на длине волны $2,097 \text{ мкм}$ с накачкой непрерывным тулиевым волоконным лазером [8].

Из результатов измерения LIDT и удельной электропроводности (см. таблицу) прослеживается качественная зависимость. Легирование химическими элементами, снижающее удельную электропроводность образцов (σ), приводит к росту LIDT; а легирование химическими элементами, приводящее к возрастанию удельной электропроводности образцов, уменьшает LIDT. Например, при легировании ZGP кальцием σ возрастает примерно на порядок, а при легировании ZGP Mg и Se, напротив, наблюдается уменьшение σ примерно на порядок.

Проводимость исследуемых образцов и параметры порога оптического пробоя

Легирующая примесь	σ , 1/Ом·см	Порог оптического пробоя при отжиге 650 °С, Дж/см ²	Порог оптического пробоя при отжиге 750 °С, Дж/см ²
Mg	$5,42 \cdot 10^{-6}$	2,6	2,94
Se	$4,16 \cdot 10^{-7}$	2,64	2,7
Ca	$15 \cdot 10^{-5}$	28	1,92
ZGP	$14 \cdot 10^{-6}$	26	24

Изменение удельной проводимости косвенно свидетельствует о перераспределении энергетических уровней примесных атомов в запрещенной зоне.

Показано, что диффузионное легирование монокристалла ZGP Mg и Se приводит к увеличению LIDT, при отжиге на температуре 750 °С порог пробоя образцов легируемых Mg и Se увеличивается на 31 % и 20,5 % с 24 Дж/см² до 2,94 и 2,7 Дж/см² соответственно. При легировании ZGP Ca наблюдается противоположная тенденция.

Изменение LIDT в зависимости от диффузионно вносимой примеси можно объяснить созданием дополнительных каналов диссипации энергии за счет процессов излучательной и быстрой безызлучательной релаксации через примесные энергетические уровни.

Список литературы

1. Nikogosyan D. N. Nonlinear optical crystals: A complete survey. N. Y.: Springer, 2005.
2. Boyd G.D., Buehler E., Storz F.G. Linear and nonlinear optical properties of ZnGeP₂ and CdSe // App. Phys. Lett. 1971. Vol. 18. P. 301–304.
3. Dmitriev V.G., Gurzadyan G.G., Nikoghosyan D.N. Handbook of Nonlinear Optical Crystals. 2nd. ed. Berlin: SpringerVerlag, 1995.
4. Рудь В. Ю. Оптоэлектронные явления в дифосфиде цинка и германия // Физ. и техн. ПП. 1994. Т. 28. С. 1105.
5. Водопьянов К. Л., Воеводин В. Г., Грибенюков А. Л., Кулевский Л. А. Высокоэффективная пикосекундная параметрическая суперлюминесценция в кристалле ZnGeP₂ в диапазоне 5–6 мкм // Квант. электр. 1987. Т. 14. С. 1815–1819.
6. Henriksson M., Tiihonen M., Pasiskevicius V., Laurell F. ZnGeP₂ parametric oscillator pumped by a line width narrowed parametric 2 μm source // Opt. Lett. 2006. Vol. 31. P. 1878–1880.
7. Vodopyanov K. L., Ganikhanov F., Maffettone J.P. et al. ZnGeP₂ optical parametric oscillator with 3.8–12.4 μm tenability // Opt. Lett. 2000. Vol. 25. P. 841–843.
8. The R-on-1 Test. Lidaris LIDT Service 2019 <https://lidaris.com/laser-damage-testing/r-on-1-test/>.