

Нелинейно-оптические свойства кристаллов GaSe_(1-x)S_x на телекоммуникационных частотах

Nonlinear optical properties of GaSe_(1-x)S_x crystals at telecom frequencies

Авторы: О.Н. Шевченко^{1,2}, С.Л. Микерин¹, К.А. Кох³, В.Д. Анцыгин¹, Н.А. Николаев^{1,2}

¹Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Новосибирск (ИАиЭ СО РАН)

²Новосибирский государственный университет

³Институт геологии и минерологии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Новосибирск (ИГМ СО РАН)

Authors: O.N. Shevchenko^{1,2}, S.L. Mikerin¹, K.A. Kokh³, V.D. Antsygin¹,
N.A. Nikolaev^{1,2}

¹Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk (IA&E SB RAS)

²Novosibirsk State University

³Institute of Geology and Mineralogy SB RAS

Впервые проведено исследование нелинейно-оптического взаимодействия волн телекоммуникационного диапазона (с-band, 1550 нм) и волн, перспективных для систем беспроводной связи будущего поколения (0.9–2 мм), соответствующих частотам 140–350 ГГц в кристаллах GaSe_(1-x)S_x, где x принимает значения 0, 0.03, 0.12, 0.16 и 0.22. Показано, что увеличение содержания серы в структуре кристалла нелинейно влияет на значения электрооптического r_{22} и нелинейного d_{22} коэффициентов. Такое поведение можно объяснить двумя противодействующими механизмами: падением экситонного возбуждения при росте значения содержания серы до величины $x \sim 0.12$ и смещения края поглощения в коротковолновую область спектра; при дальнейшем увеличении концентрации серы происходит уменьшение квадратичной восприимчивости, обусловленное переходом в centrosymmetric фазу, соответствующую кристаллу сульфида галлия (GaS).

В результате определен оптимальный диапазон легирования кристаллов GaSe_(1-x)S_x, обеспечивающий максимальную нелинейность и эффективность взаимодействия. Максимальные значения электрооптического r_{22} и нелинейно-оптического d_{22} коэффициентов кристаллов GaSe_(1-x)S_x наблюдаются при $x=0.12$. Измеренные коэффициенты нелегированного GaSe составляют $r_{22}=0.975$ пм/В и $d_{22}=13.94$ пм/В, а для наиболее эффективного кристалла GaSe_{0,88}S_{0,12} $r_{22}=1.262$ пм/В и $d_{22}=17.61$ пм/В.

Полученные результаты по линейным и нелинейным оптическим свойствам кристаллов GaSe_(1-x)S_x могут быть полезны при разработке линейных смесителей и модуляторов устройств оптической связи.

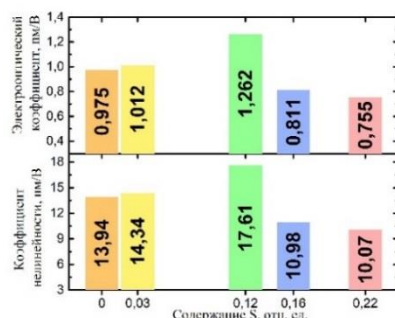


Рис. 1.5. Величины электрооптического r_{22} и нелинейного d_{22} коэффициентов кристаллов GaSe:S

Fig. 1.5. Values of electrooptic r_{22} and nonlinear d_{22} coefficients of GaSe_(1-x)S_x crystals

For the first time, the nonlinear wave interaction of telecom (c-band, 1550 nm) and 6G (140–350 GHz) bands in $\text{GaSe}_{(1-x)}\text{S}_x$ crystals ($x = 0, 0.03, 0.12, 0.16, \text{ and } 0.22$) was studied. The increase in sulfur content in the crystal structure has a nonlinear effect on the values of the electrooptic r_{22} and quadratic susceptibility d_{22} coefficients (Fig.1.5). Two opposing mechanisms can account for this behavior. For $x < 0.12$, a decrease in exciton excitation and a blue-shift of the absorption edge are dominating, reducing the loss of IR radiation. When $x > 0.12$, the crystal structure transitions to a centrosymmetric phase corresponding to a gallium sulfide (GaS) crystal, which results in a decrease in quadratic susceptibility.

As a result, the optimal sulfur doping has been determined, which ensures maximum nonlinearity and interaction efficiency. At $x = 0.12$, the maximal values of the electrooptic and nonlinear coefficients are observed: $r_{22} = 1.262 \text{ pm/V}$ and $d_{22} = 17.61 \text{ pm/V}$. At the same time, for pure GaSe, they take values of $r_{22} = 0.975 \text{ pm/V}$ and $d_{22} = 13.94 \text{ pm/V}$.

The analysis of $\text{GaSe}_{(1-x)}\text{S}_x$ crystals' linear and nonlinear optical characteristics can be helpful in the creation of nonlinear modulators and mixers for optical communication devices.

Публикации/References:

1. Mikerin S.L., Shevchenko O.N., Kokh K.A., Nikolaev N.A. Detection of terahertz frequencies in S-doped GaSe crystals using laser pulses at telecom wavelengths // *Applied Sciences*. – 2023. – V. 13, is. 2045. – P. 11–14. – DOI 10.3390/app13042045.
2. Shevchenko O.N., Kokh K.A., Nikolaev N.A. Detection of THz waves in GaSe:S crystals by femtosecond laser radiation with a telecom wavelength of 1.55 μm // *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2021. – 2067. – P. 012012. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2067/1/012012>
3. Shevchenko O.N., Nikolaev N.A., Antsygin V.D. Estimation of the nonlinear-optical coefficient of GaSe:S crystals according to electro-optical measurements // *Proc. SPIE 12920, XVI International Conference on Pulsed Lasers and Laser Applications, 129200G, 2023.*