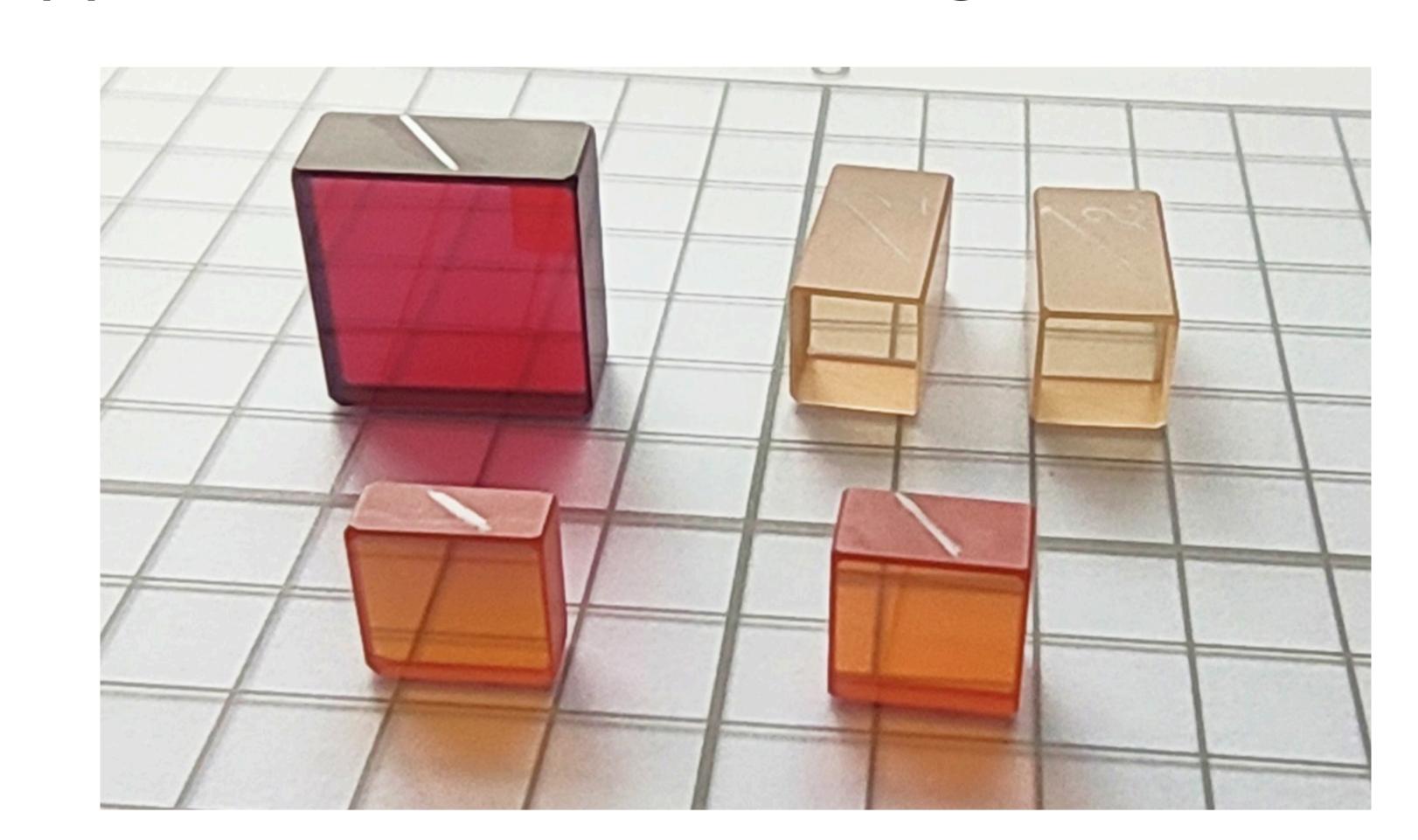
## Crystals grown at KubSU for mid-IR femtosecond lasers



# Кристаллы выращенные в КубГУ для фемтосекундных лазеров среднего ИК диапазона Лаборатория новейших технологий. Д.В. Бадиков, badikovd@gmail.com

Crystal	BaGa <sub>2</sub> GeS <sub>6</sub>	HgGa <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	
Symmetry	Trigonal	Tetragonal	
Point group	3	4	
Melting point (°C)	983	880	
Optical transmission	0.43-12	0.5-12.5	
Energy gap (eV)	3.37	2.34	
deff(pm/V)	19	30	



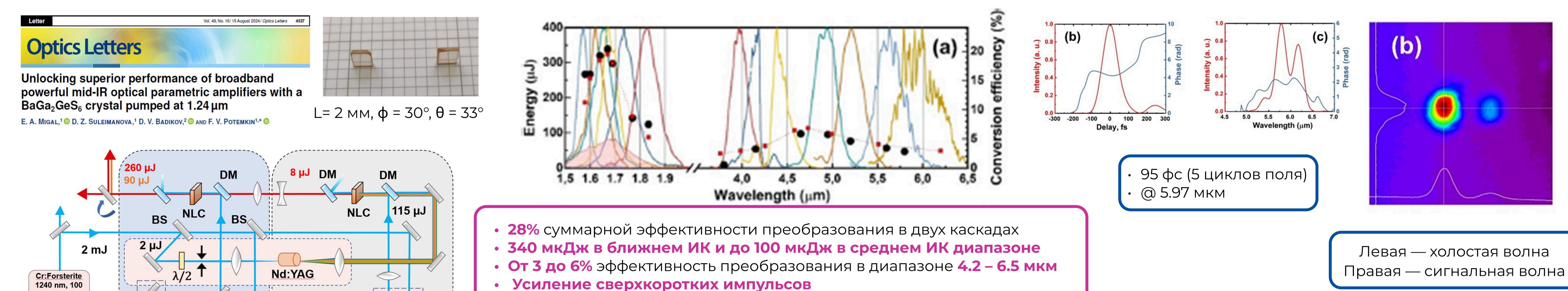


fs, 16 mJ, 10-100 Hz

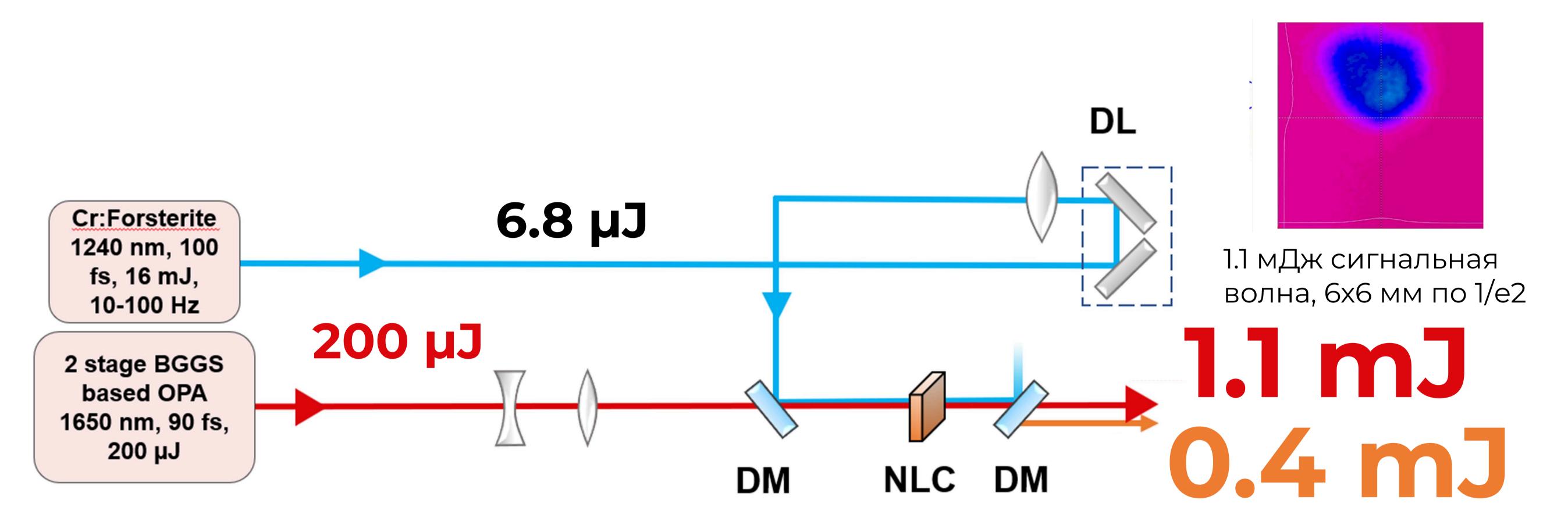
# Московский государственный университет Группа нелинейной оптики и сверхсильных световых полей.

Руководитель профессор, д.ф.м.н. Ф.В. Потемкин, potemkin@physics.msu.ru

#### Выходные характеристики ОПУ на основе BaGa2GeS6

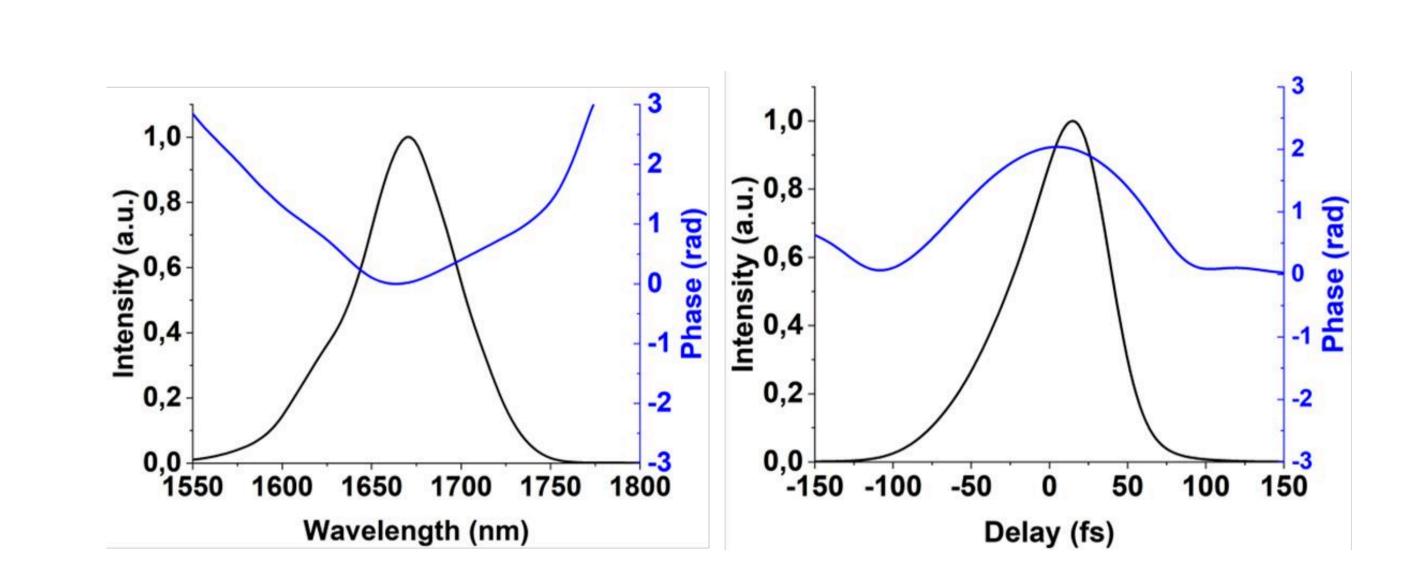


#### Высокоэнергетичный ОПУ на основе BaGa2GeS6









>1.1 мДж 75 фс (15 ГВт) 1.67 мкм лазерные импульсы для экспериментов по сверхсильному световому полю >0.4 мДж в среднем ИК диапазоне 4.8 мкм >30% эффективность с сохранением качества пучка



#### Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Лаборатория газовых лазеров. Руководитель работ И.О. Киняевский kinyaevskiyio@lebedev.ru

Фемтосекундный лазер

ближнего ИК-диапазона

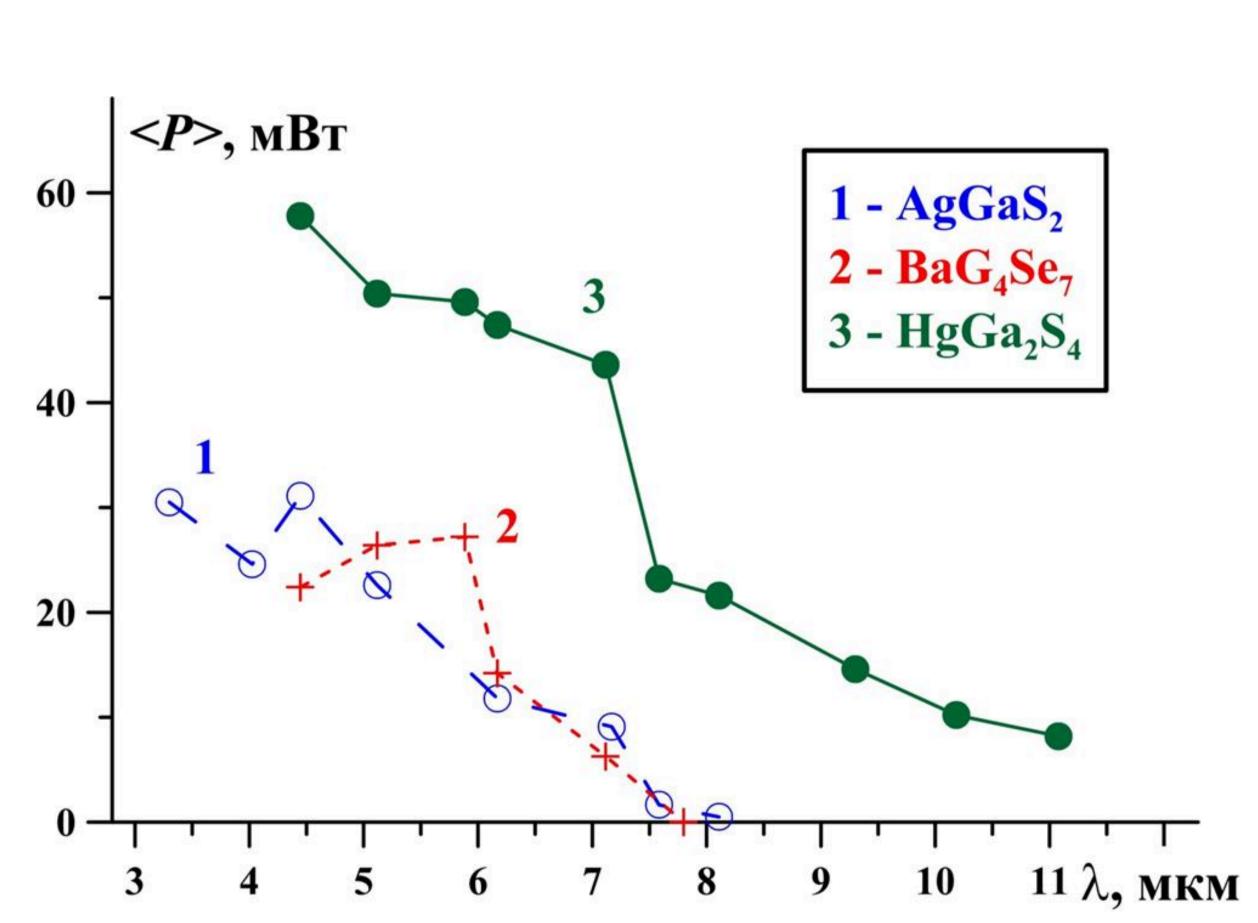
Повышение мощности фемтосекундной коммерческой лазерной системы PARUS DFG, на основе иттербиевого волоконного лазера TETA-20 (Авеста проект, Россия).

Показано, что наибольшая эффективность генерации разностной частоты (до ~7.5%) достигается с кристаллом HgGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>, который обеспечивает в 2 – 3 раза большую энергию импульсов с длиной волны 4 – 7 мкм (до 6 мкДж) без его повреждения по сравнению с традиционным AgGaS<sub>2</sub>.

И.О.Киняевский, Н.А.Смирнов, А.В.Корибут, и др. "Эффективность преобразования фемтосекундных импульсов иттербиевого волоконного лазера

в средний ИК диапазон в кристаллах AgGaS<sub>2</sub>, BaG<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> и HgGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>", Квантовая электроника, 54:9 (2024), 572–574

Оптическая схема	Кристалл	Макс. энергия импульса накачки	Макс. энергия ГРЧ импульса	Макс. эффект	Ограничивающий фактор
7	AgGaS <sub>2</sub>	1.8 мДж	1.4 мкДж	~0.08%	Повреждение
7	ZnGeP <sub>2</sub>	1.6 мДж	0.4 мкДж	~0.08%	Двухфотонное поглощение
7	LiGaS <sub>2</sub>	2.5 мДж	2.7 мкДж	~0.1%	Повреждение
7	BaGa <sub>2</sub> GeSe <sub>6</sub>	1.8 мДж	4.5 мкДж	~0.24%	Двухфотонное поглощение
2	BaGa <sub>2</sub> GeSe <sub>6</sub>	1.6 мДж	12.5 мкДж	~0.8%	Двухфотонное поглощение
2	HgGa <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	1.5 мДж	35 мкДж	~2.8%	Не определено



Зависимость средней мощности излучения ГРЧ от длины волны в кристаллах AgGaS<sub>2</sub>, BaG<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> и HgGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>



Кристалл BGGS обладает уникально высокой нелинейностью ~20 пм/В для кристалла с большой шириной запрещенной зоны 3.37 эВ. Это делает его весьма перспективным для лазерных систем с длиной волны ~1 мкм. Использование этого кристалла ограничивалось неопределенностью направления с наибольшей нелинейностью. На сегодняшний день проблема решена.

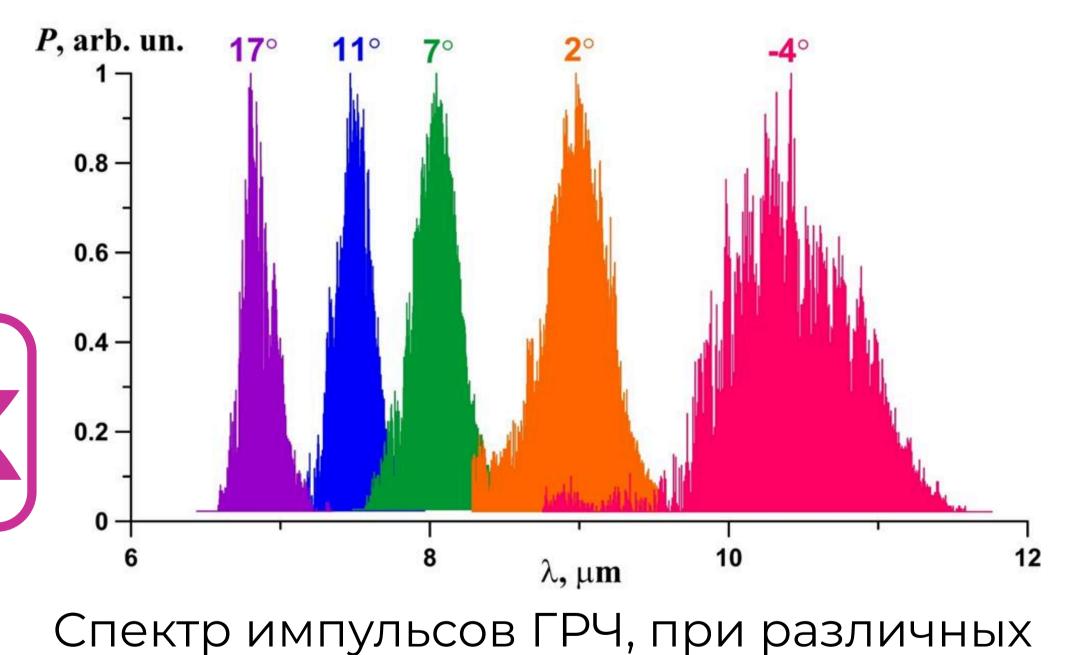
(О)сигнал. ▶

кристалл

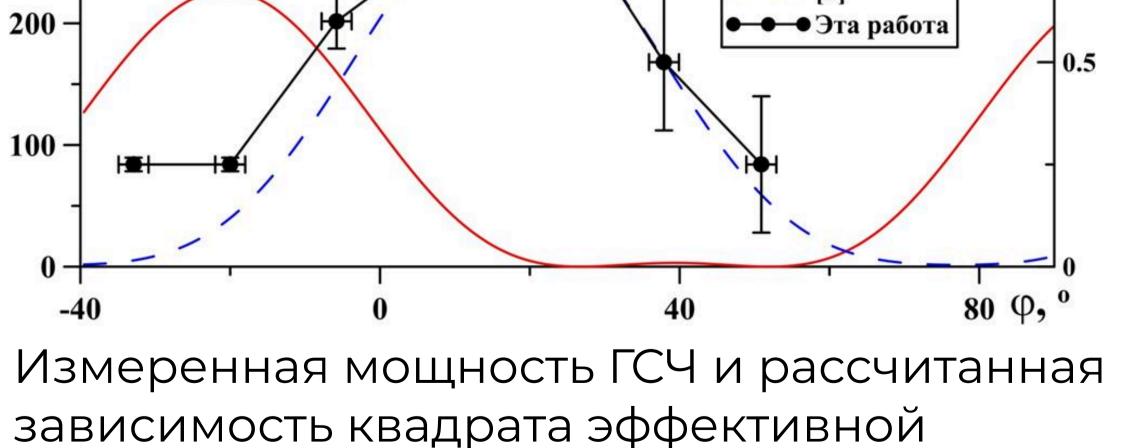
М.В. Ионин, А.А. Ионин, И.О. Киняевский и др. "Исследование эффективной нелинейности кристалла BaGa2GeS6 по генерации суммарных частот СО-лазера I и II типа фазового синхронизма", Квант. электрон. 54(8) (2024), 461–466

Филаментация

·Kinyaevskiy I.O., Koribut A.V., Grudtsyn Y.V., et al. "Frequency conversion of femtosecond Ti: Sapphire laser pulse into 5–11 µm wavelength range with ZnGeP2, AgGaS2 and LiGaS2crystals" Optics & Laser Technology, 183, 112270 (2025) ·Kinyaevskiy I.O., Koribut, A.V., Grudtsyn Y.V., & Ionin M.V. "Frequency Conversion of Femtosecond Ti: Sapphire Laser Pulse to the Long-Wave Mid-IR Range with BaGa2GeSe6 Crystal" JETP Letters, 119(10), 758-762 (2024) ·Kinyaevskiy I.O., Koribut, A.V., Grudtsyn Y.V., & Ionin M.V. "Frequency conversion of a 100-fs Ti:sapphire laser pulse into the mid-IR range in a single HgGa2S4 nonlinear crystal with a quantum efficiency of 30%" Optics Letters, 50(8) (2025)



углах кристалла HgGa₂S₄  $d_{\rm eff}^2$ ,  $(\Pi M/B)^2$ P, отн. ед.



нелинейности кристалла BBGS от угла ф.



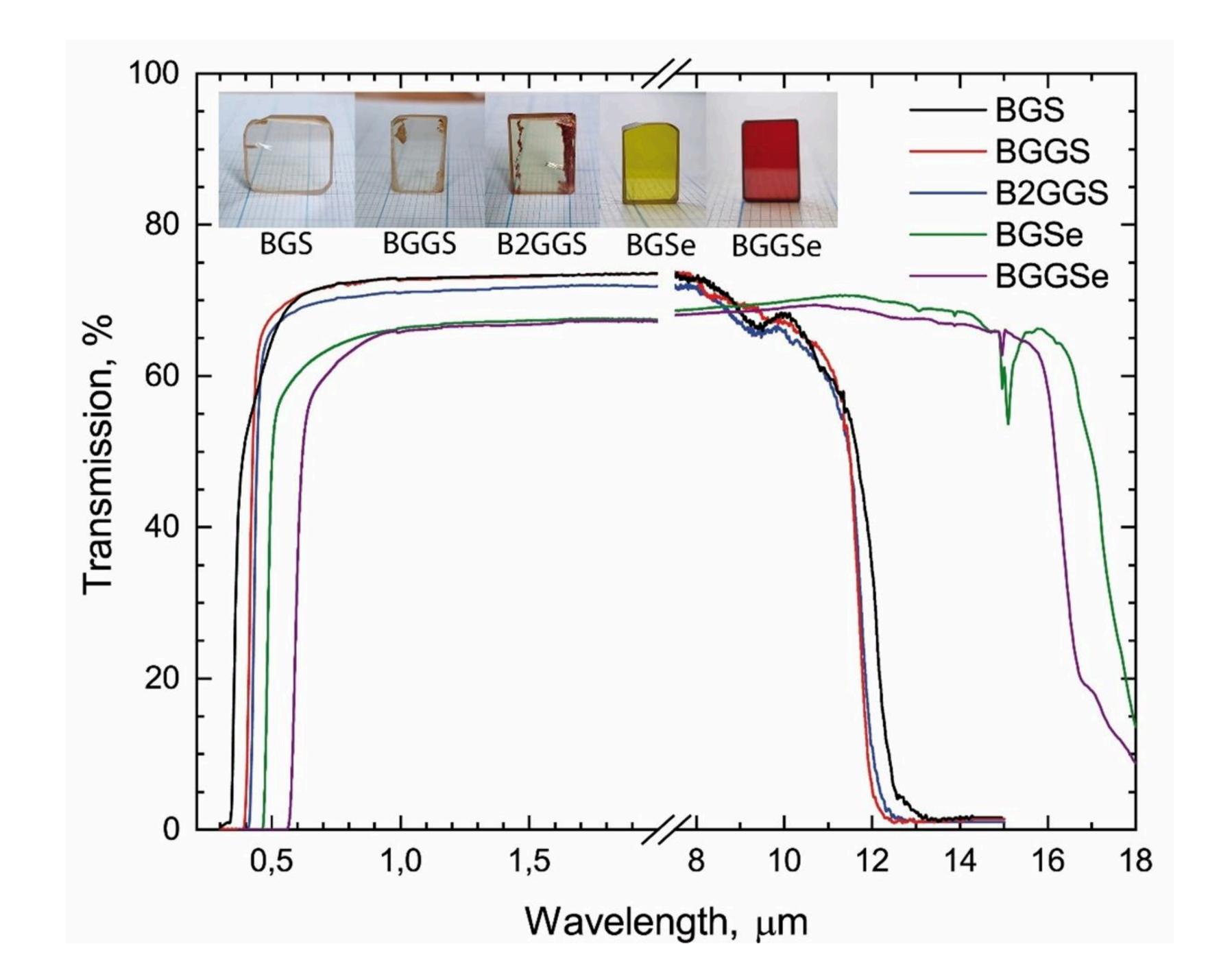


### New highly efficient nonlinear crystals in the mid-IR and THz spectral regions



### Новые высокоэффективные нелинейные кристаллы среднего ИК диапазона и ТГц области спектра

Лаборатория новейших технологий. Д.В. Бадиков, badikovd@gmail.com



Crystal	BaGa <sub>4</sub> S <sub>7</sub>	BaGa <sub>2</sub> GeS <sub>6</sub>	Ba <sub>2</sub> Ga <sub>8</sub> GeS <sub>16</sub>	BaGa <sub>4</sub> Se <sub>7</sub>	BaGa <sub>2</sub> GeSe <sub>6</sub>
Symmetry	Orthorhombic	Trigonal	Hexagonal	Monoclinic	Trigonal
Point group	mm2	3	6mm	m	3
Melting point (°C)	1105	983	1008	1050	877
Optical transmission	0.35-12.5	0.43-12	0.4-11.7	0.47-18	0.5-18
Energy gap (eV)	3.59	3.37	3.07	2.73	2.38
LIDT(ns, 1,053 µm),J/cm2	6.4-7.4	6.8-7	6.9-7	1.5-2.3	1.9-2.3
deff(pm/V)	5	19	12	14	39

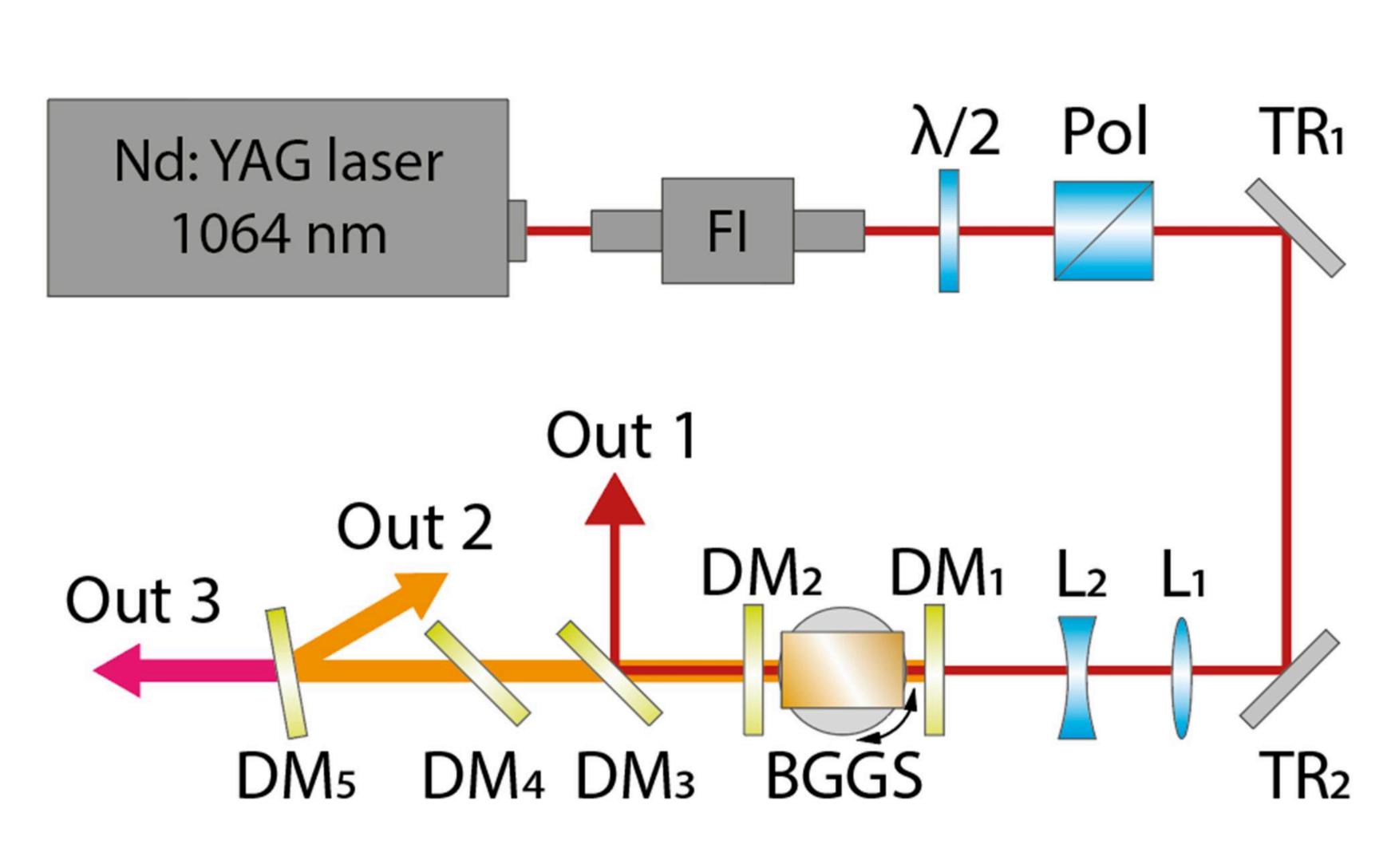
Лазерный скальпель  $\lambda = 6,45$  мкм, >2 мДж

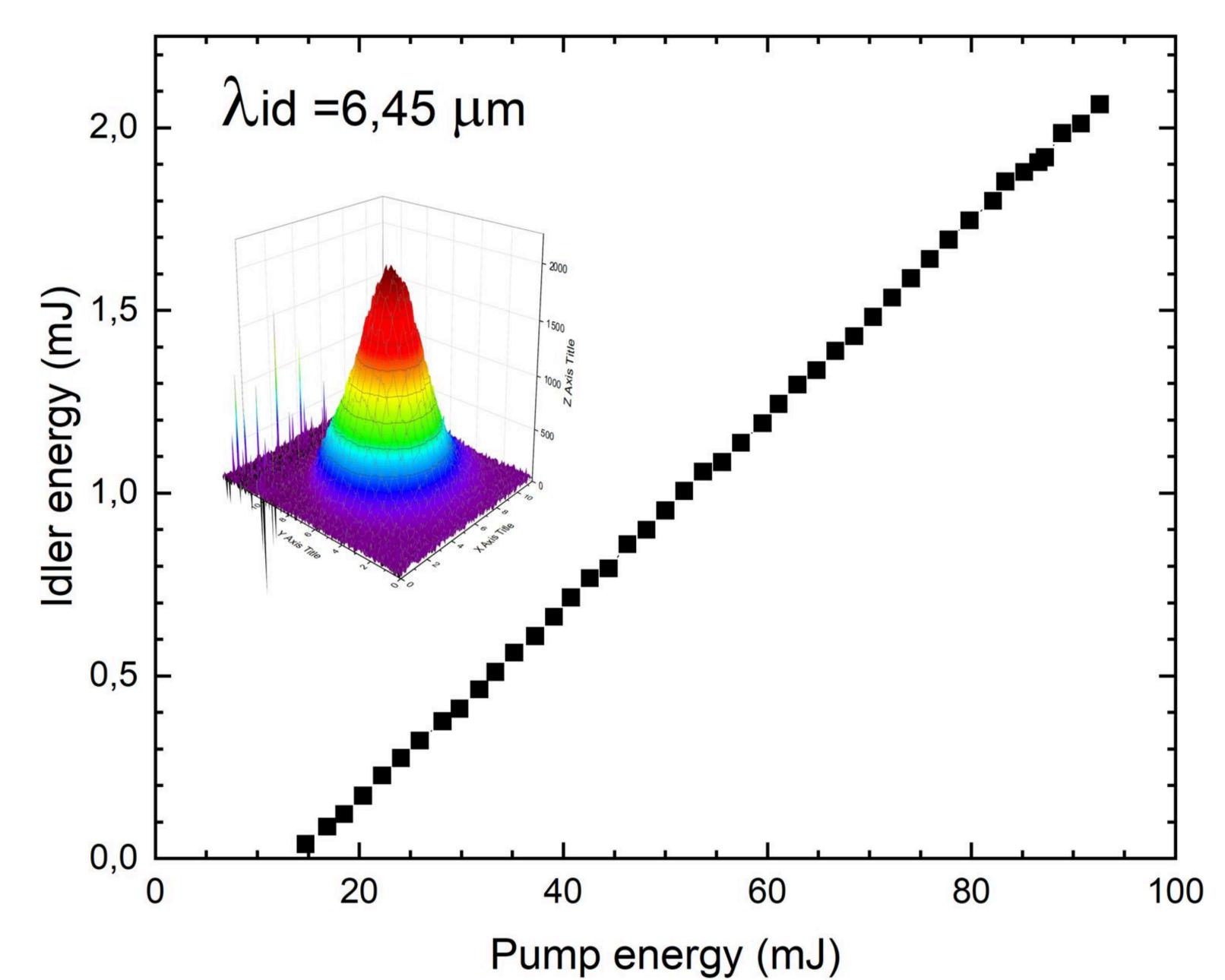
Nd:YAG laser 1064 nm, ns

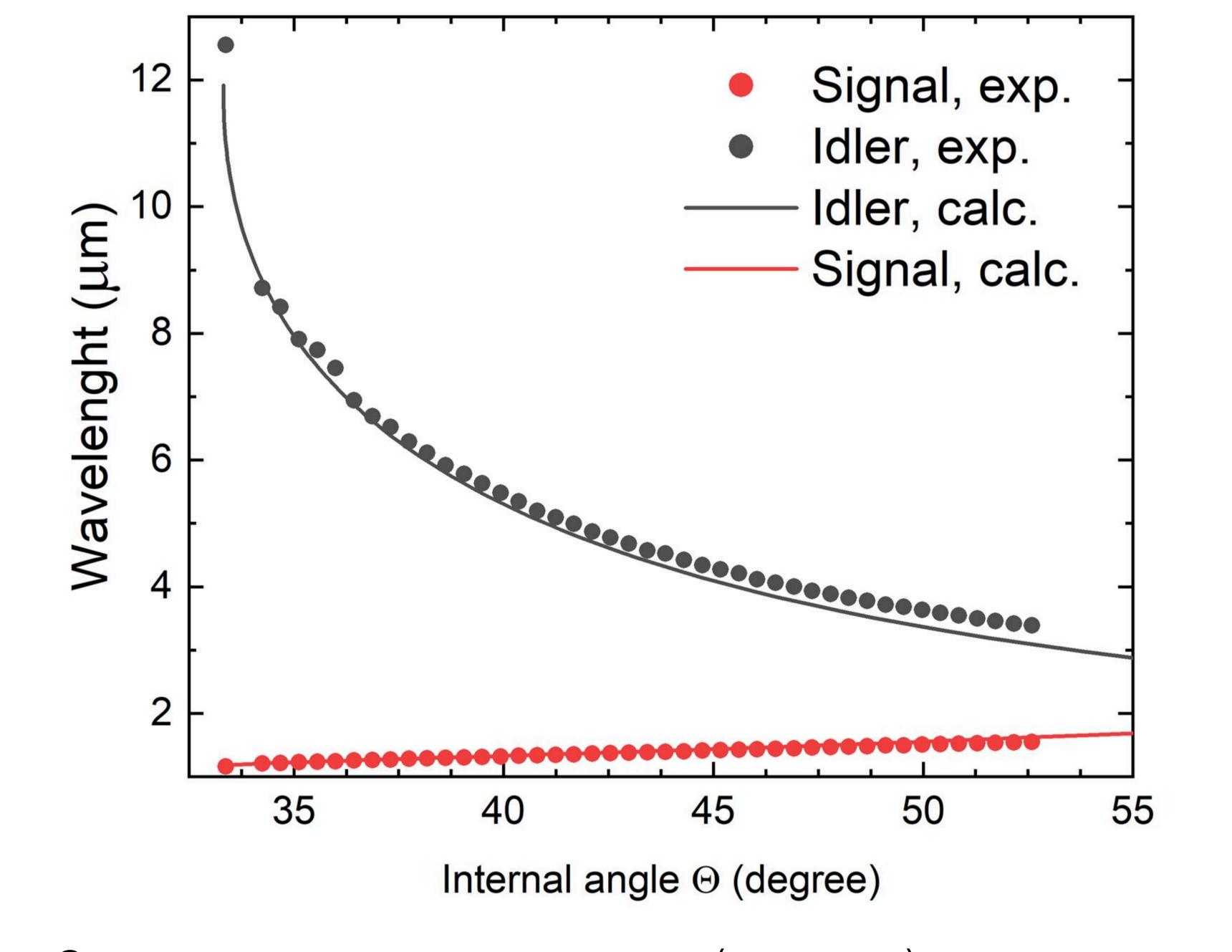


#### Институт лазерной физики СО РАН

Лаборатория квантовых оптических технологий (ЛКОТ). Руководитель Н.Ю. Костюкова, n.duhovnikova@gmail.com







Принципиальная схема наносекундного ПГС на основе кристалла BaGa<sub>2</sub>GeS<sub>6</sub>. Используемый нелинейный кристалл:  $\theta = 33,9^{\circ}$ ,  $\phi = 17,3^{\circ}$ , L=13.3 мм.

Зависимость энергии холостой волны с  $\lambda$  = 6,45 мкм от энергии лазера накачки. Максимально достигнутое значение энергии холостой волны составляет 2,06 мДж. На вставке показано распределение интенсивности в поперечном сечении луча холостой волны.

Экспериментально измеренная (символы) и расчетная зависимости длины волны выходного излучения ПГС на основе кристалла BaGa<sub>2</sub>GeS<sub>6</sub> от угла фазового синхронизма. Диапазон перестройки 3,39 – 12,55 мкм.

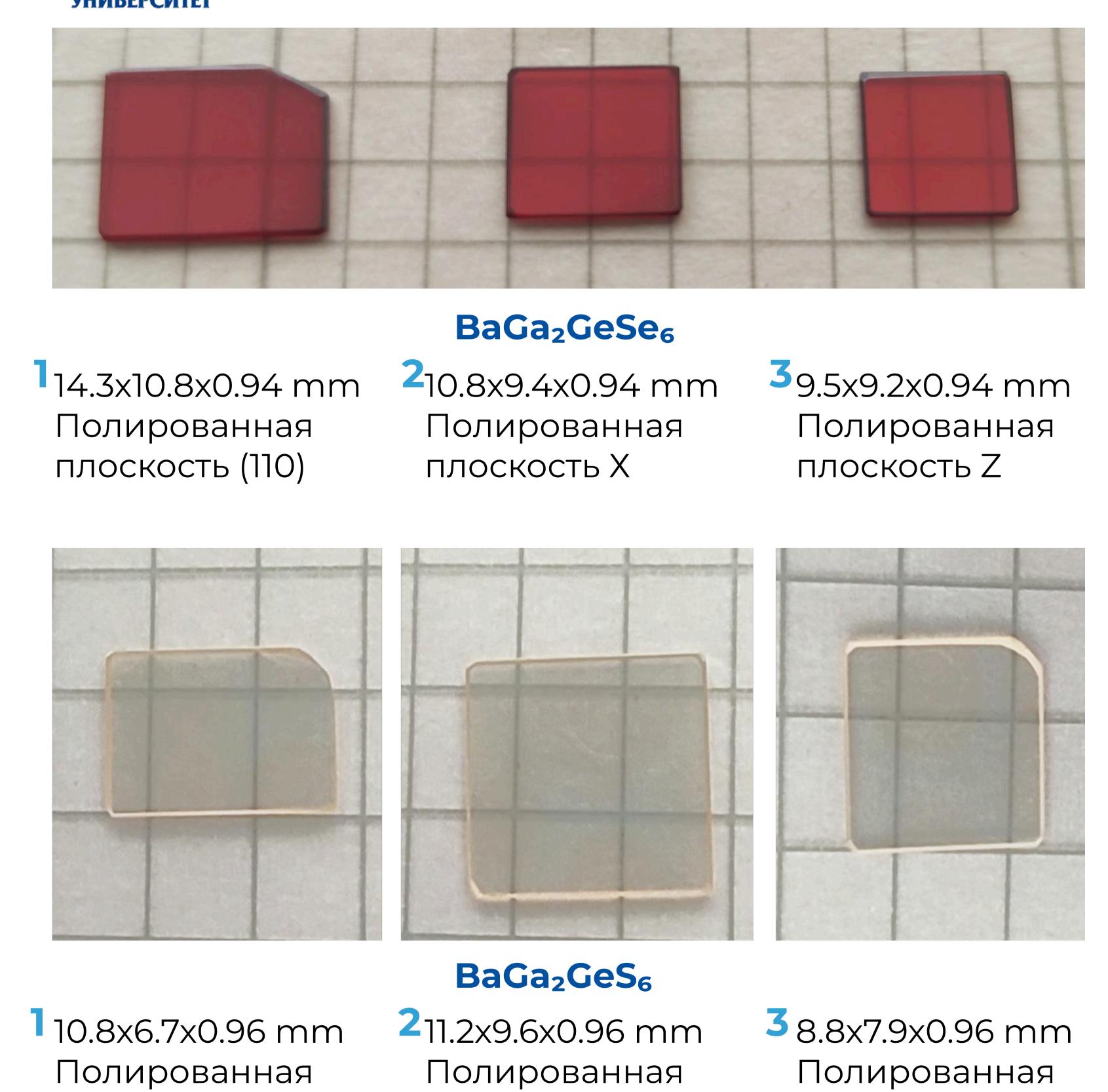


плоскость (110)

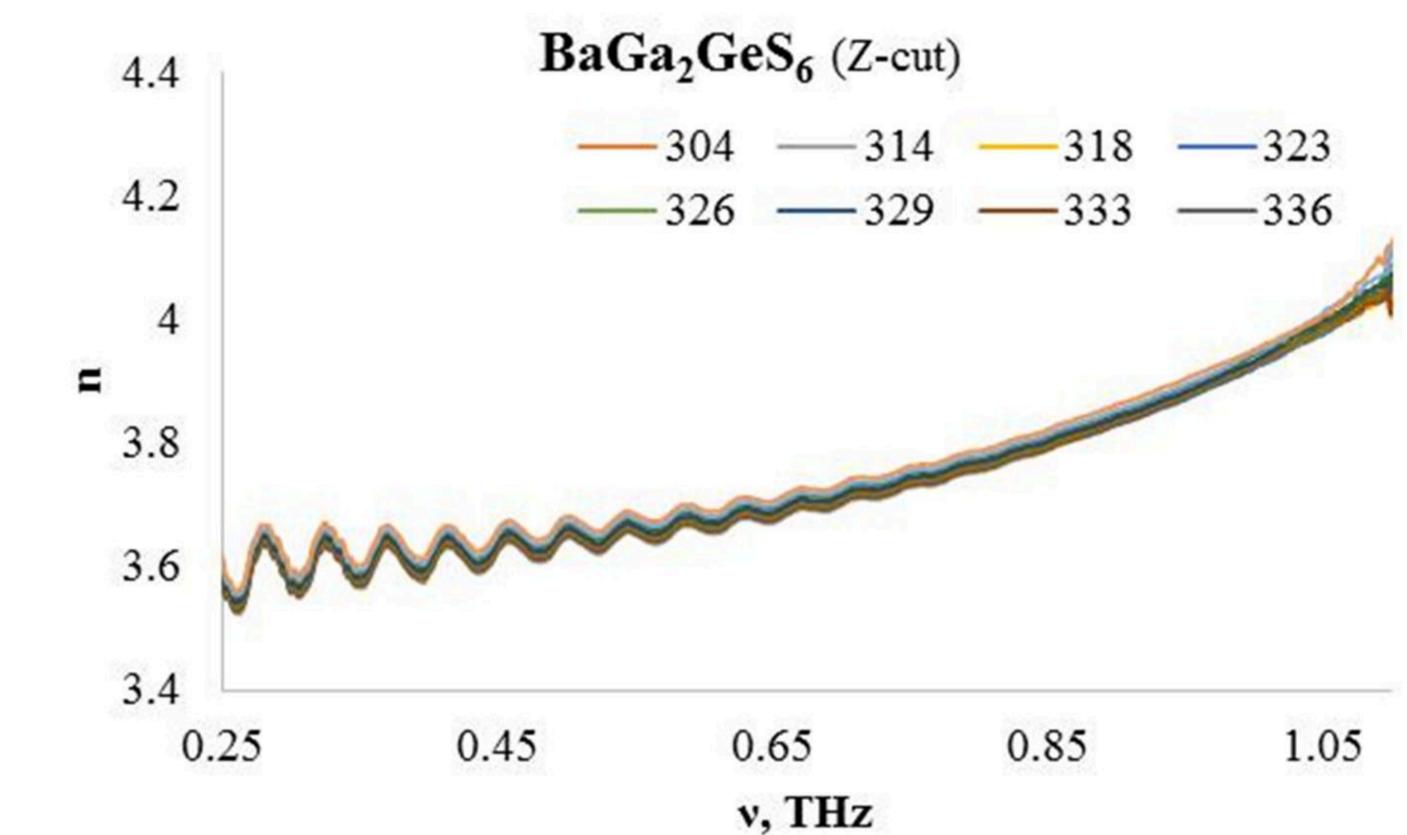
### Спектры пропускания ТГц

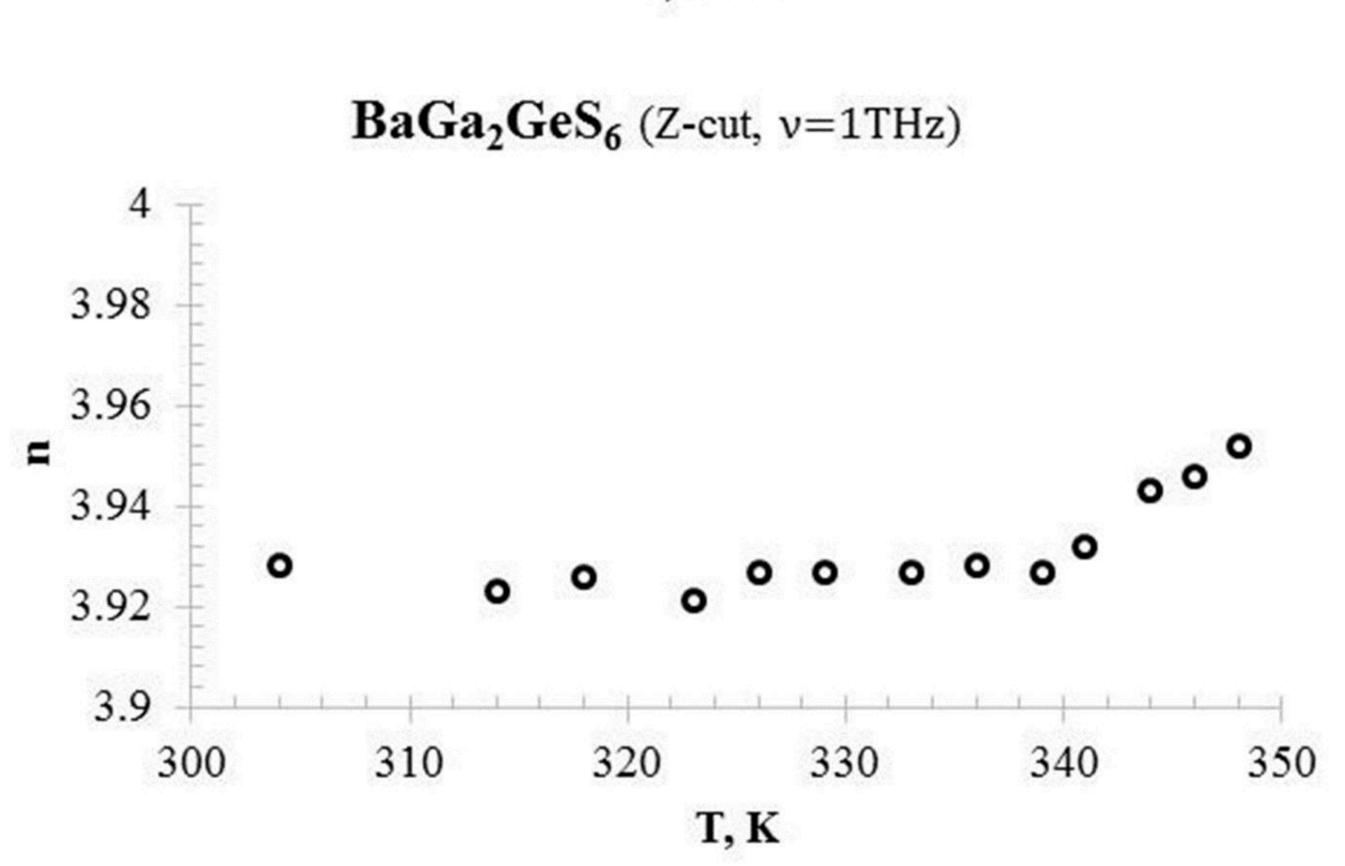
плоскость Z

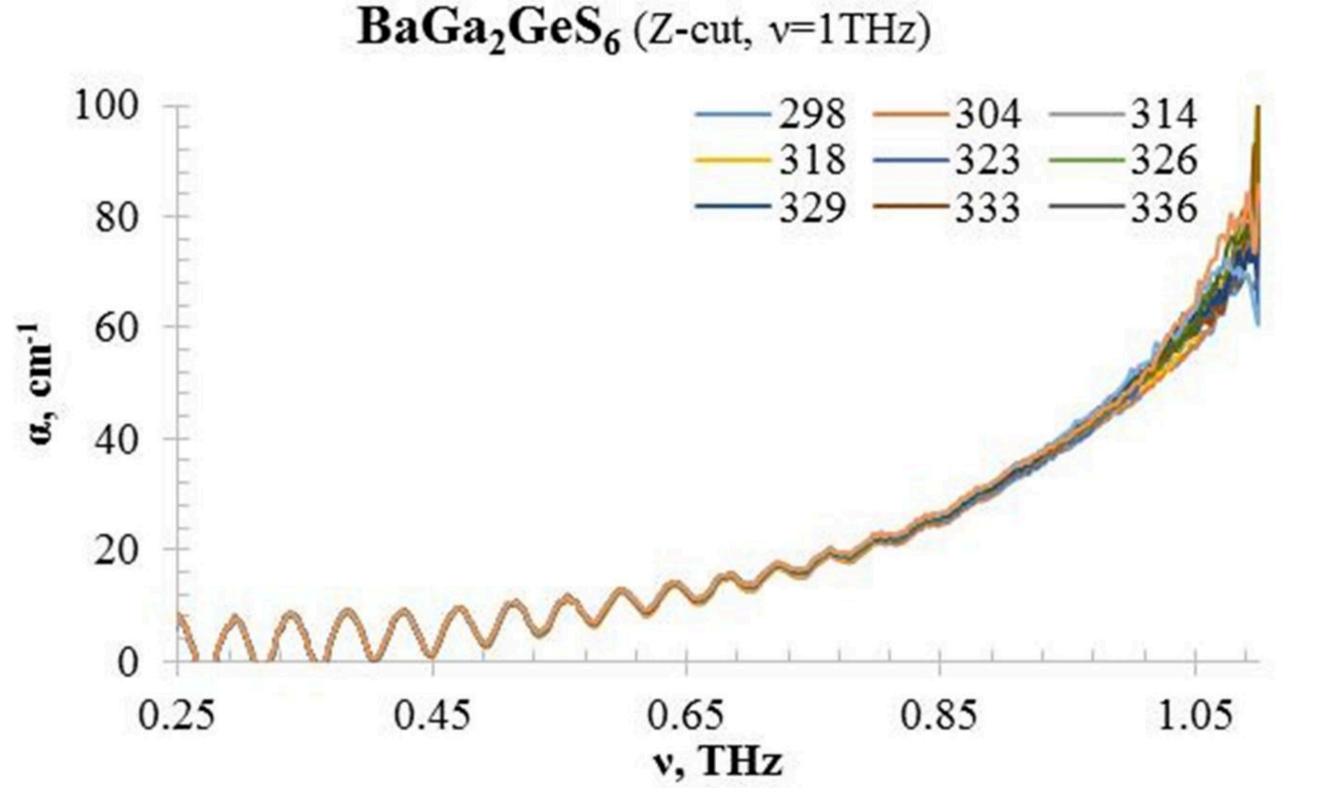
Физико-технический факультет

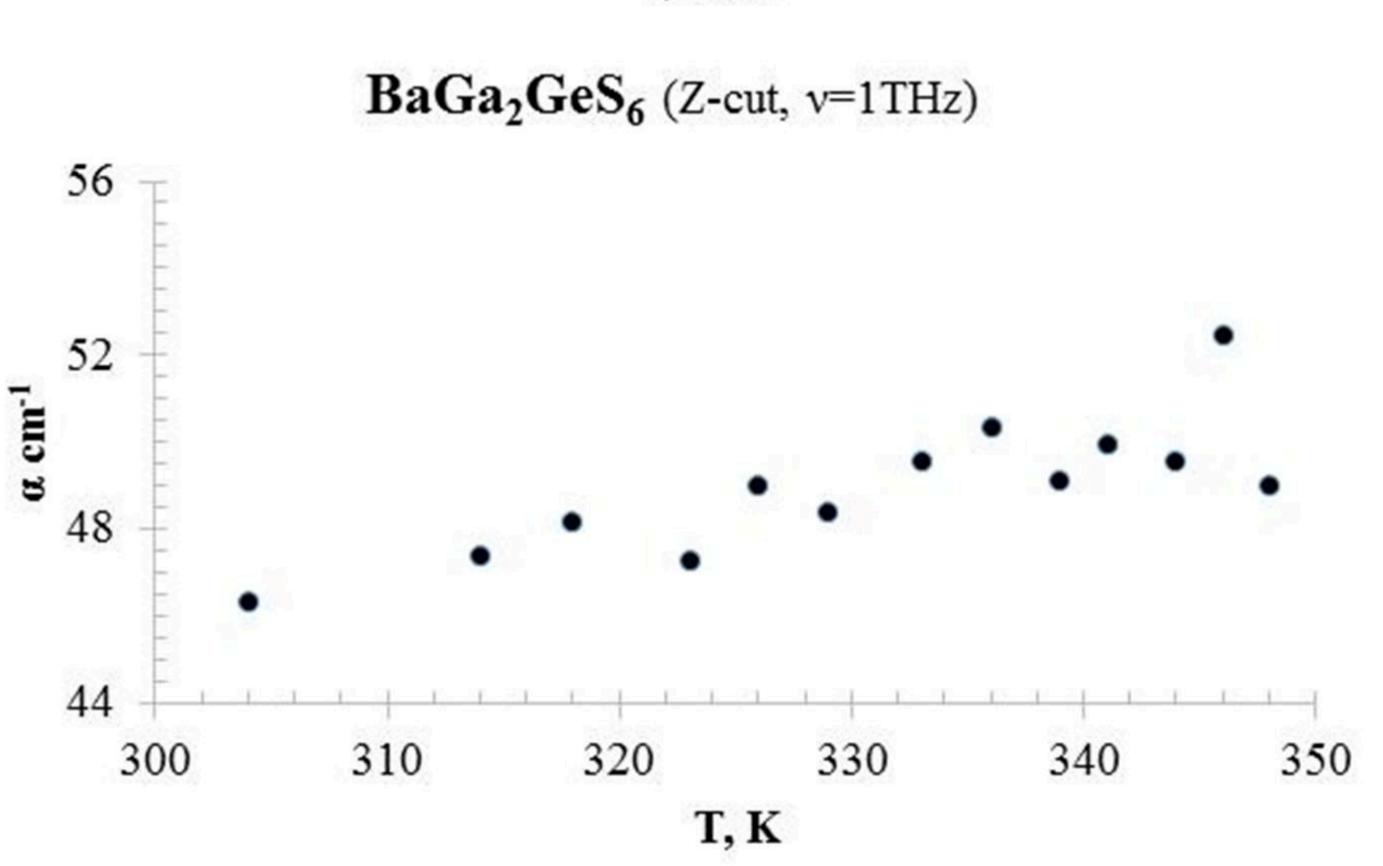


плоскость Х













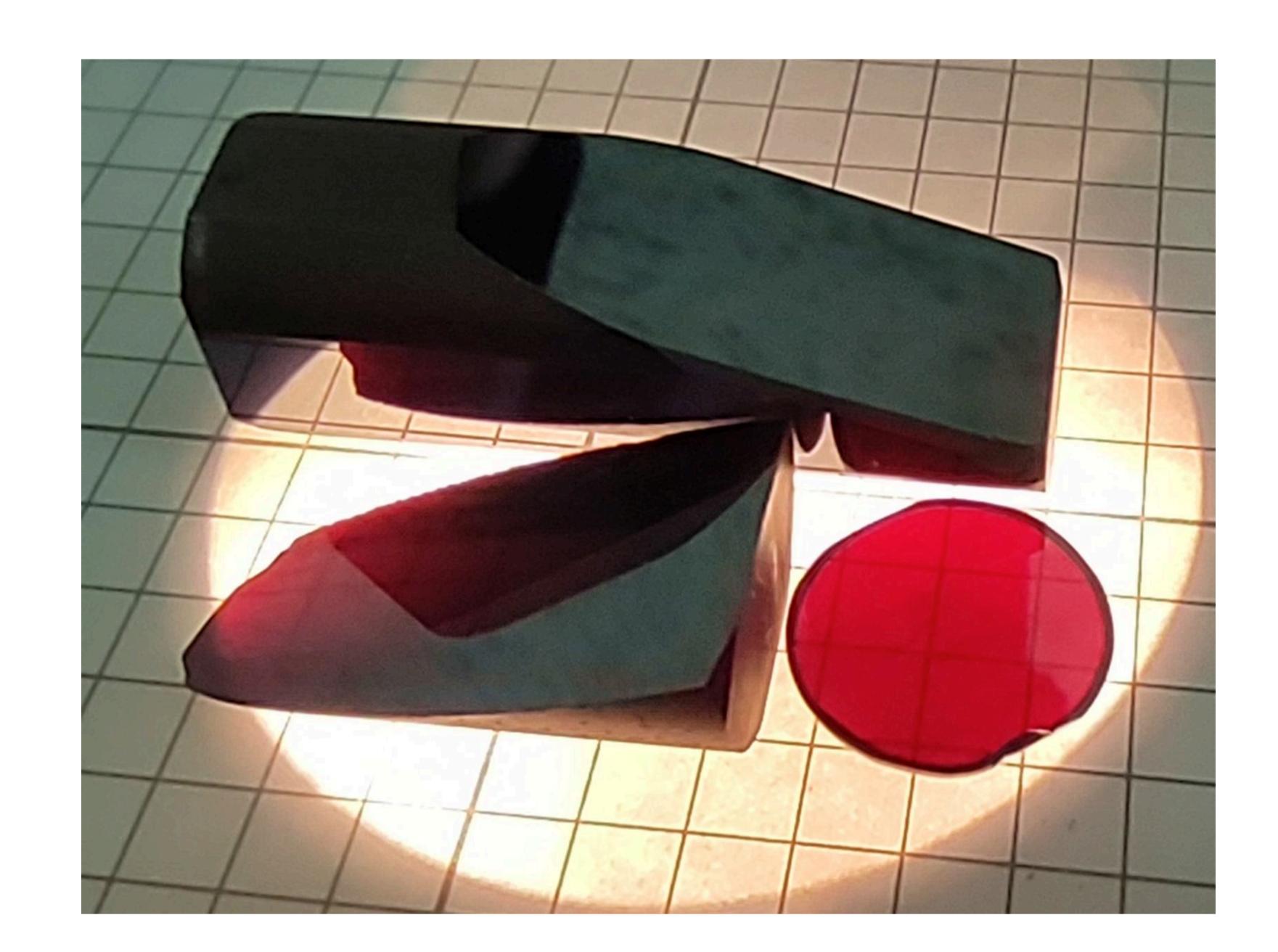
### New nonlinear crystals BaHgGeSe4 of mid-IR and THz spectral ranges



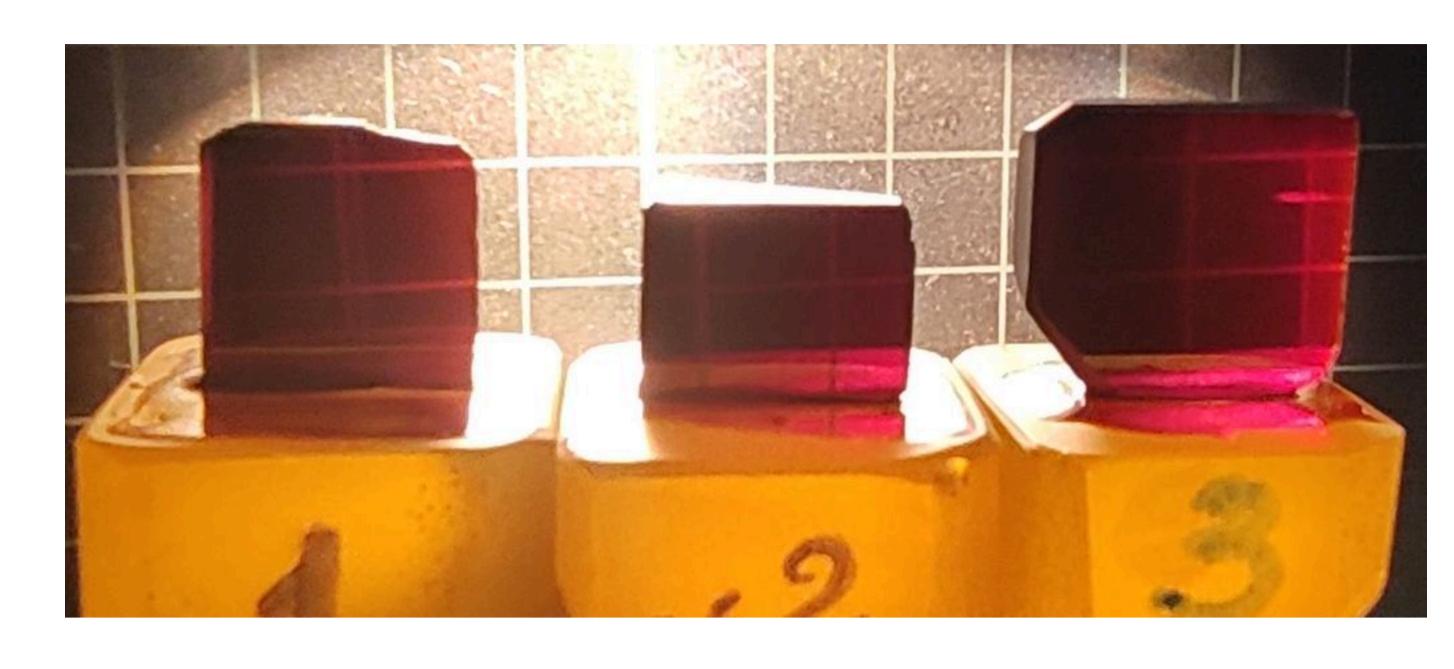
### Новый нелинейный кристалл BaHgGeSe4 среднего ИК и ТГц спектральных диапазонов

Лаборатория новейших технологий. Д.В. Бадиков, badikovd@gmail.com

Crystal	BaHgGeSe <sub>4</sub>
Symmetry	Orthorhombic
Point group	mm2
Melting point (°C)	724
Optical transmission	0.54-24
Energy gap (eV)	2.5
LIDT (ns, 1,053 μm), J/cm <sup>2</sup>	Pub. prepared
deff(pm/V)	20



Ru-Kang Li,3 D and Zu-Yan Xu1



Измеренные основные показатели призм BHGSe.

wavelength, μm	$n_x$	$n_{y}$	$n_z$
0.7	2.401	2.578	2.828
0.9	2.330	2.510	2.737
1.1	2.313	2.468	2.693
1.3	2.302	2.453	2.674
1.5	2.293	2.448	2.659
1.7	2.291	2.441	2.652
1.8	2.288	2.438	2.650
2.0	2.287	2.437	2.645
3.0	2.281	2.428	2.631
4.0	2.280	2.424	2.627
5.0	2.278	2.421	2.626
6.0	2.272	2.418	2.619
7.0	2.266	2.414	2.618
8.0	2.265	2.411	2.610
9.0	2.260	2.409	2.605

2.250

2.402

Параметры функции Селлмейера для главных показателей преломления кристалла BHGSe. Диапазон аппроксимации [0,7 – 10,0] мкм.

Crystal	n	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
	n <sub>x</sub>	5.76072	0.259825	0.129406	531.950	296.941
BHGSe	$n_v$	6.21024	0.137426	0.276542	399.052	137.010
	n,	7.45824	0.132395	0.394751	488.292	274.225

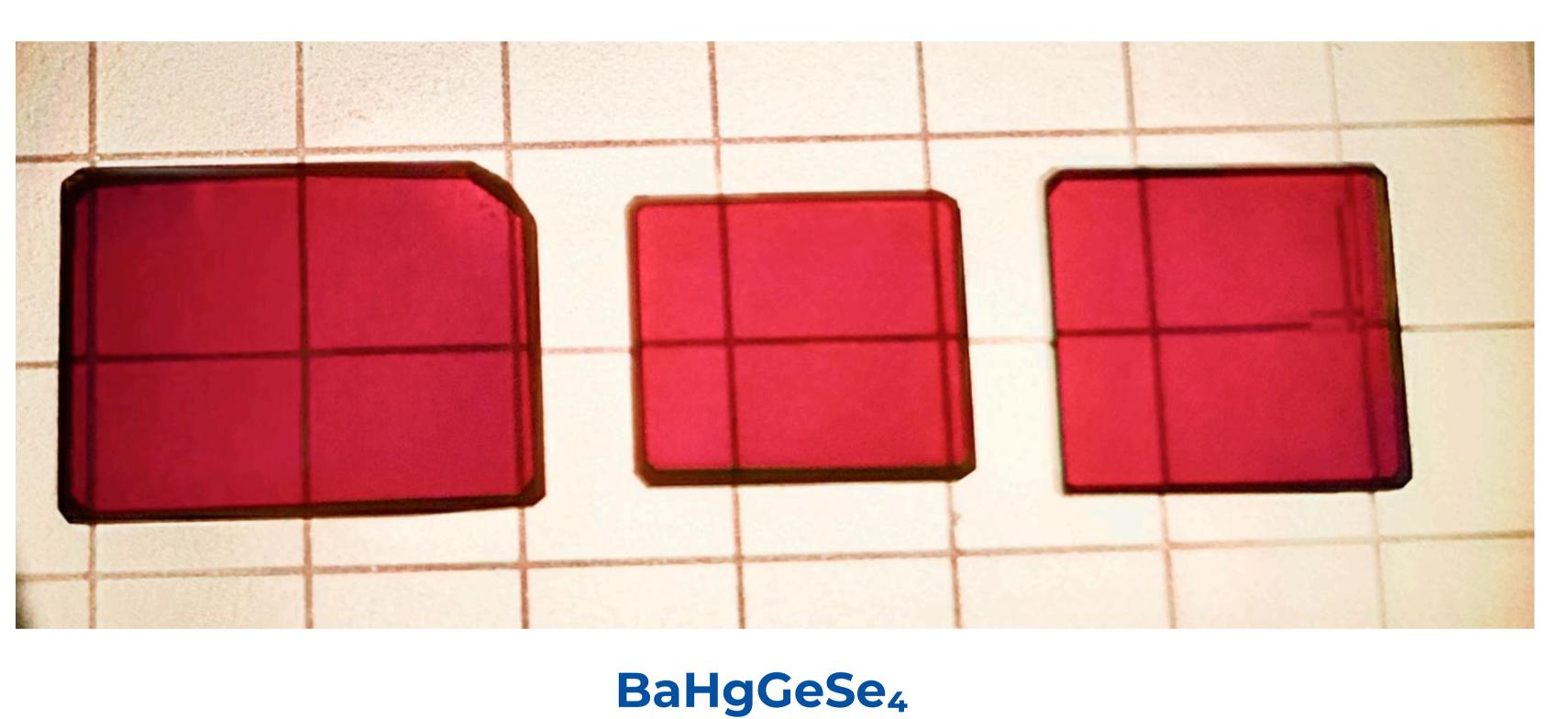
#### 984 Vol. 50, No. 3/1 February 2025/ Optics Letters **Optics Letters** High-energy MIR picosecond optical parametric amplifier with ultra-wide tunability spanning from 3 to 14 μm based on BaHgGeSe<sub>4</sub> crystal

JING-JING ZHANG,<sup>1,2</sup> FENG YANG,<sup>1,\*</sup> © CHUN-XIAO LI,<sup>3</sup> JI-YONG YAO,<sup>3,5</sup> YUAN-ZHAI XU,<sup>1</sup>

Hong-Wei Gao, Da-Fu Cui, Valeriy V. Badikov, Dmitrii V. Badikov, Dong Bo, 1

#### Спектры пропускания ТГц

Физико-технический факультет

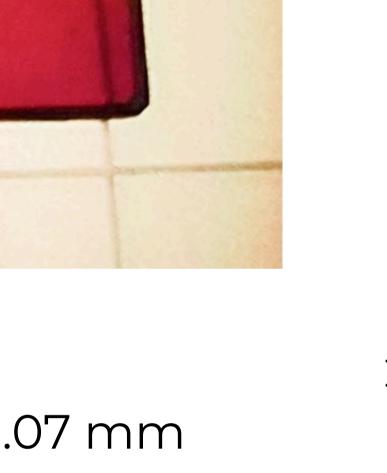


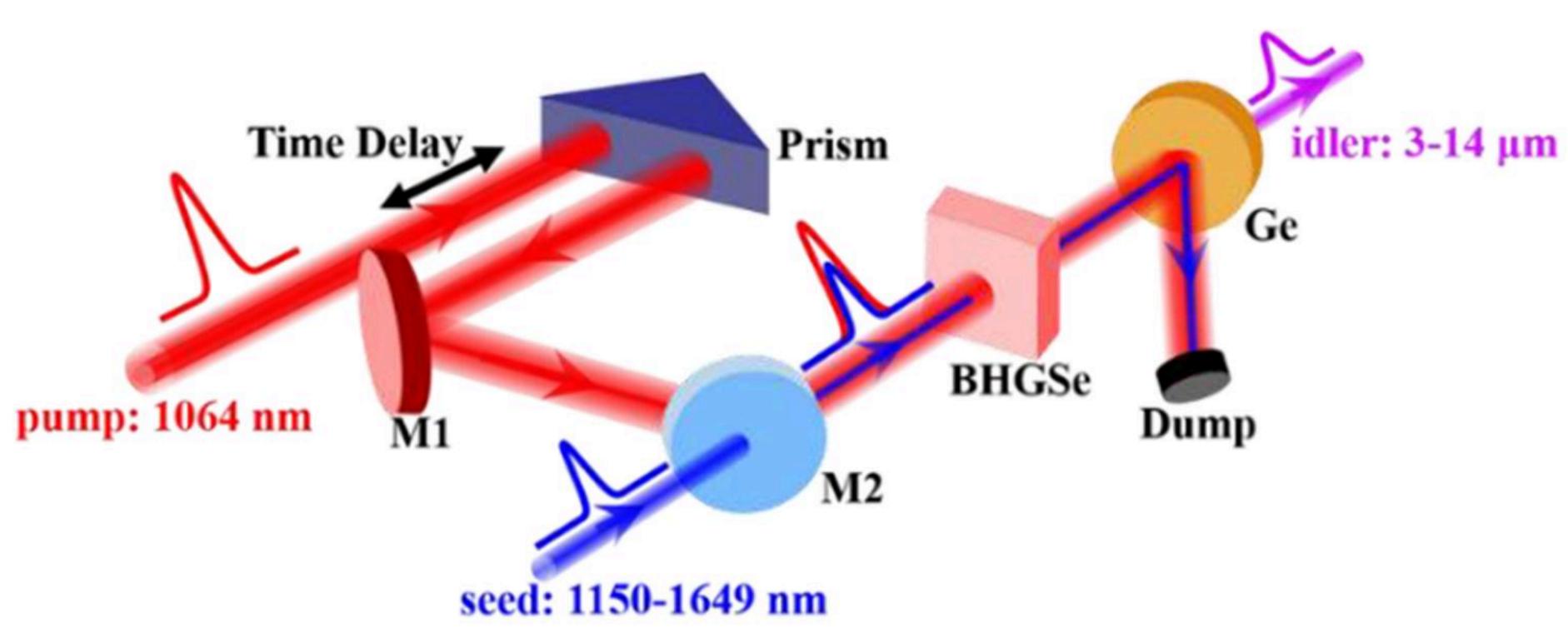
BaHgGeSe<sub>4</sub> (Y-cut, v=0.5 THz)

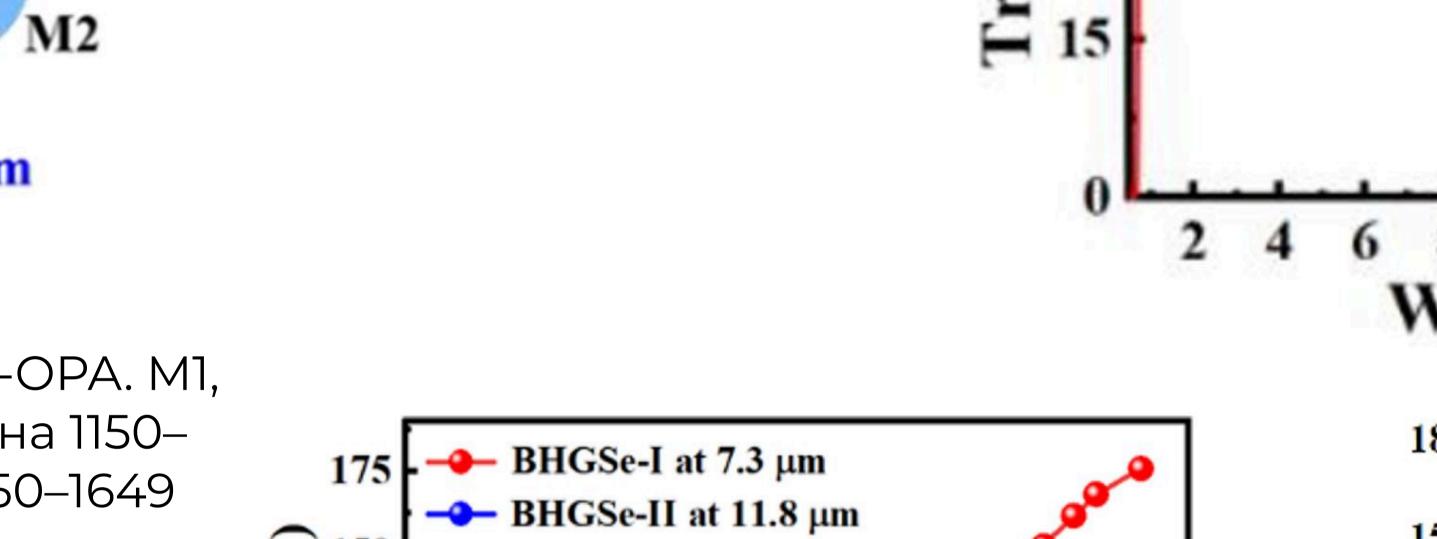
330

T, K

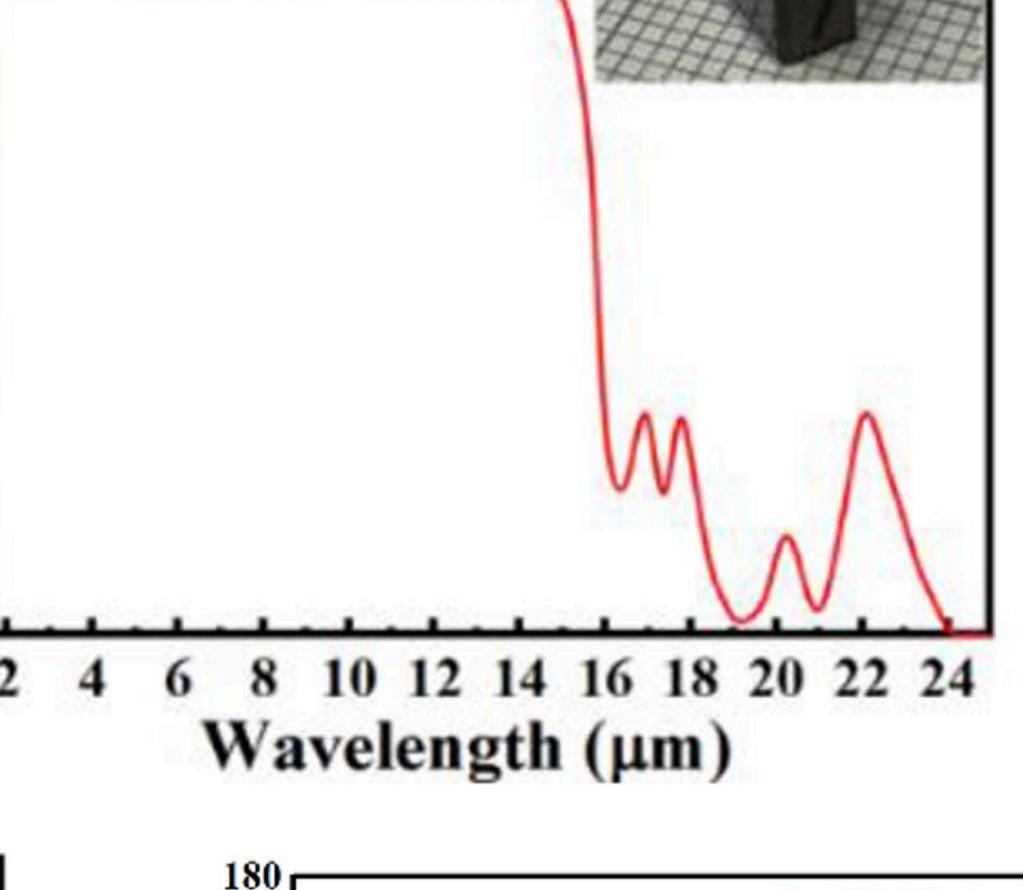
340







10.0



2.601

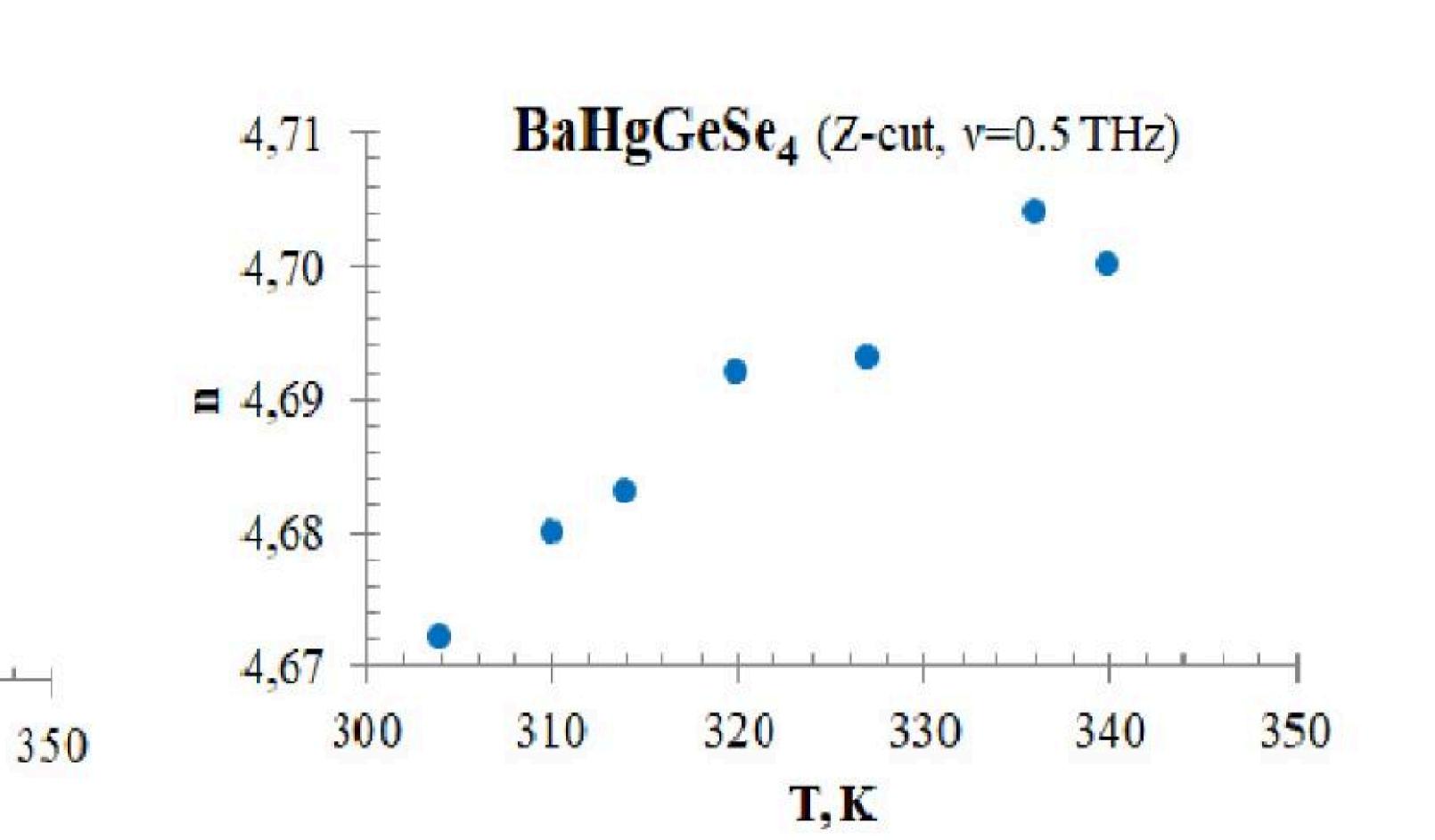
11.5x8.5x1.07 mm Полированная плоскость Х

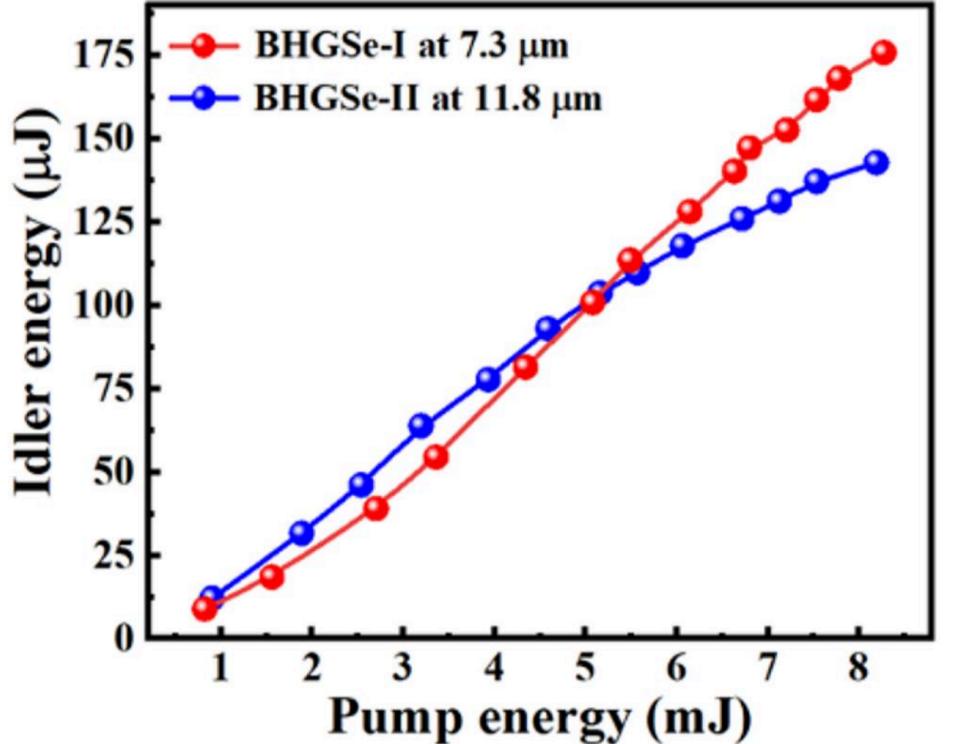
3,58

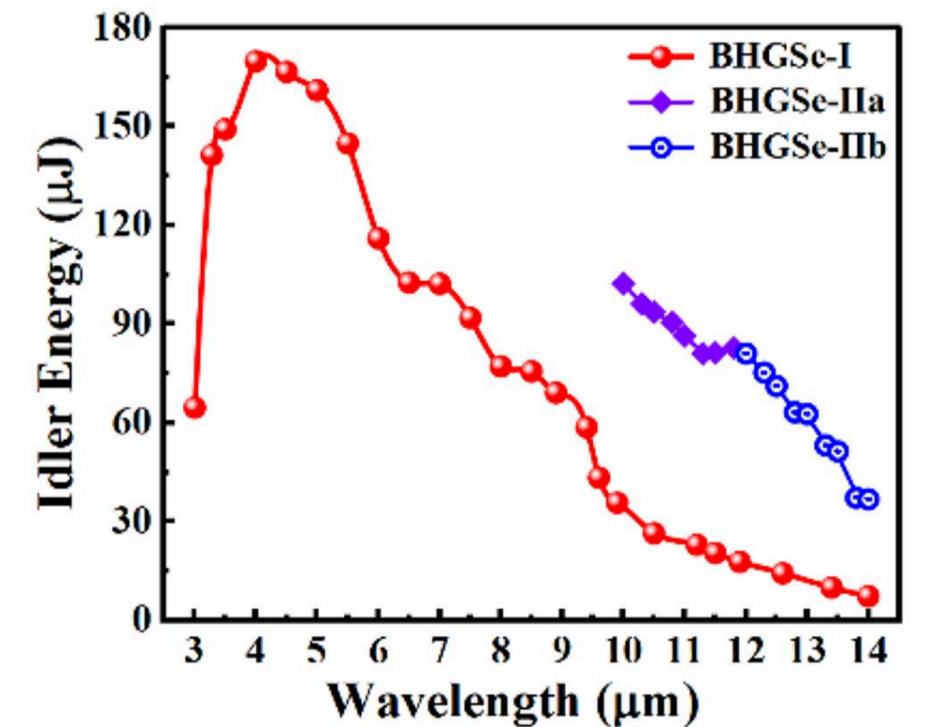
3,57

28x7x1.07 mm 38.5x7.9x1.07 mm Полированная Полированная плоскость Ү плоскость Z

Экспериментальная установка BHGSe-OPA. M1, HR на 1064 нм; M2, HR на 1064 нм и HT на 1150-1649 нм; Ge, фильтр, HR на 1064 нм и 1150–1649 нм, НТ на 3–14 мкм.

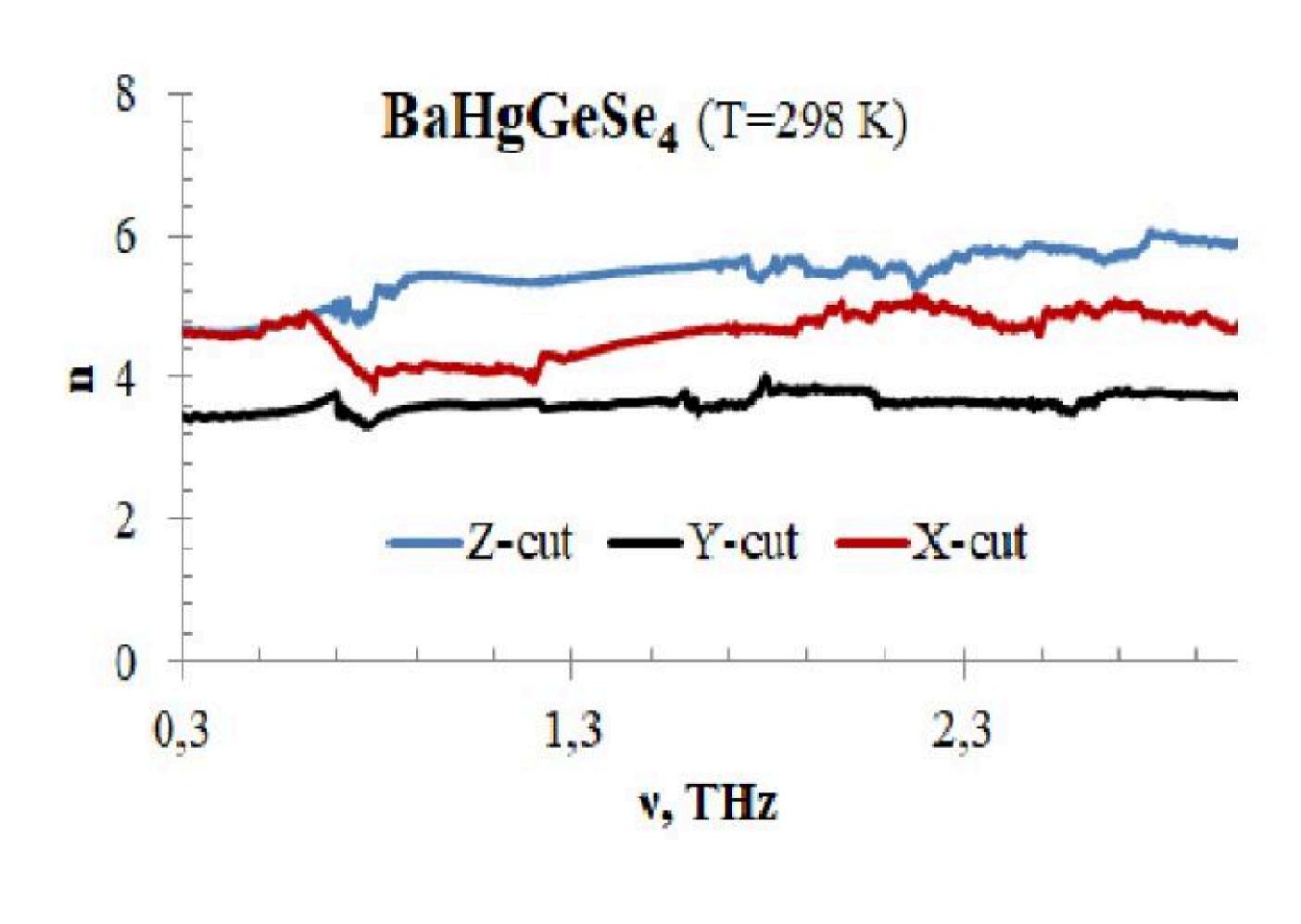


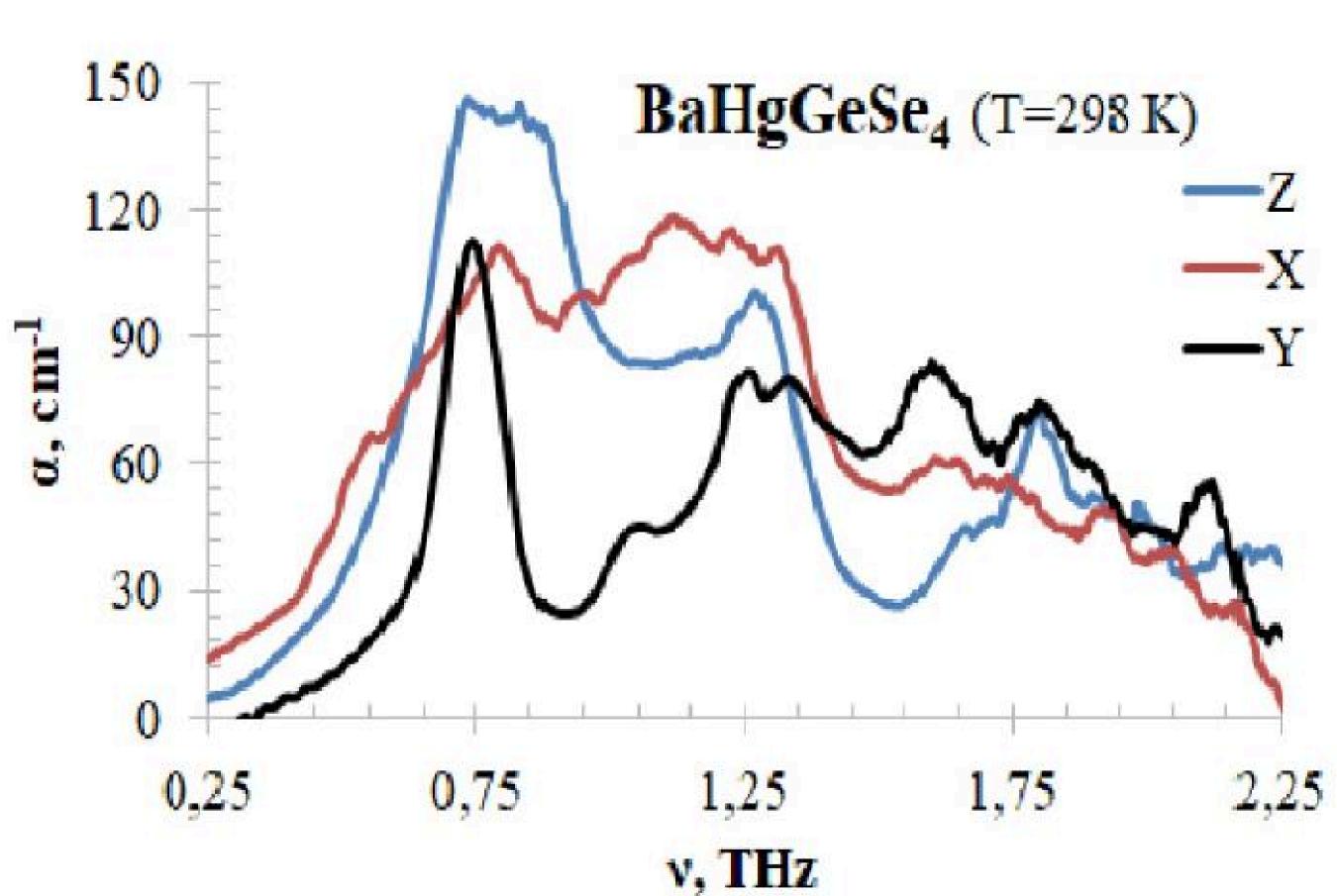


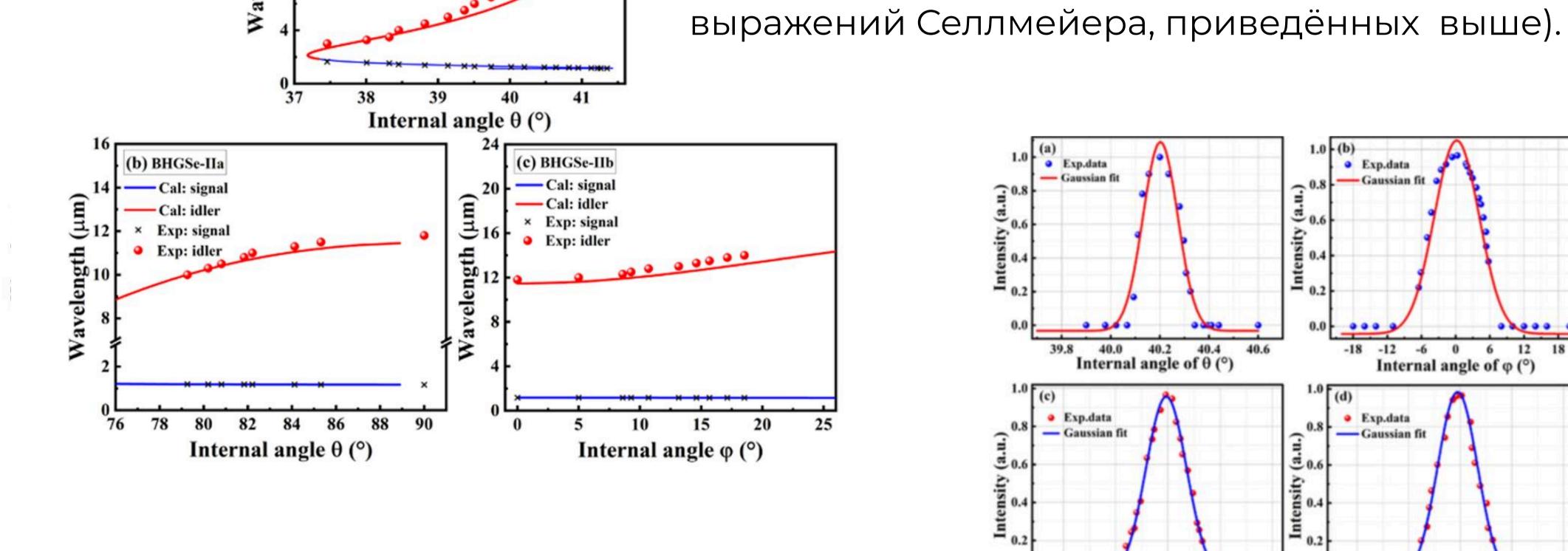


Энергия холостого хода в зависимости от энергии накачки для BHGSe-OPA при нормальном падении. (Красные круги, BHGSe-I при 7,3 мкм; синие круги, BHGSe-II при 11,8 мкм; энергия учитывает потери Френеля на торцевой поверхности.)

Настройка характеристик холостого хода для BHGSe-OPA при заданной энергии накачки 5 мДж. (Красные круги, тип I BHGSe-I; фиолетовые круги, тип II BHGSe-IIa; синие круги, тип II BHGSe-IIb; энергия учитывает потери Френеля на торце.)

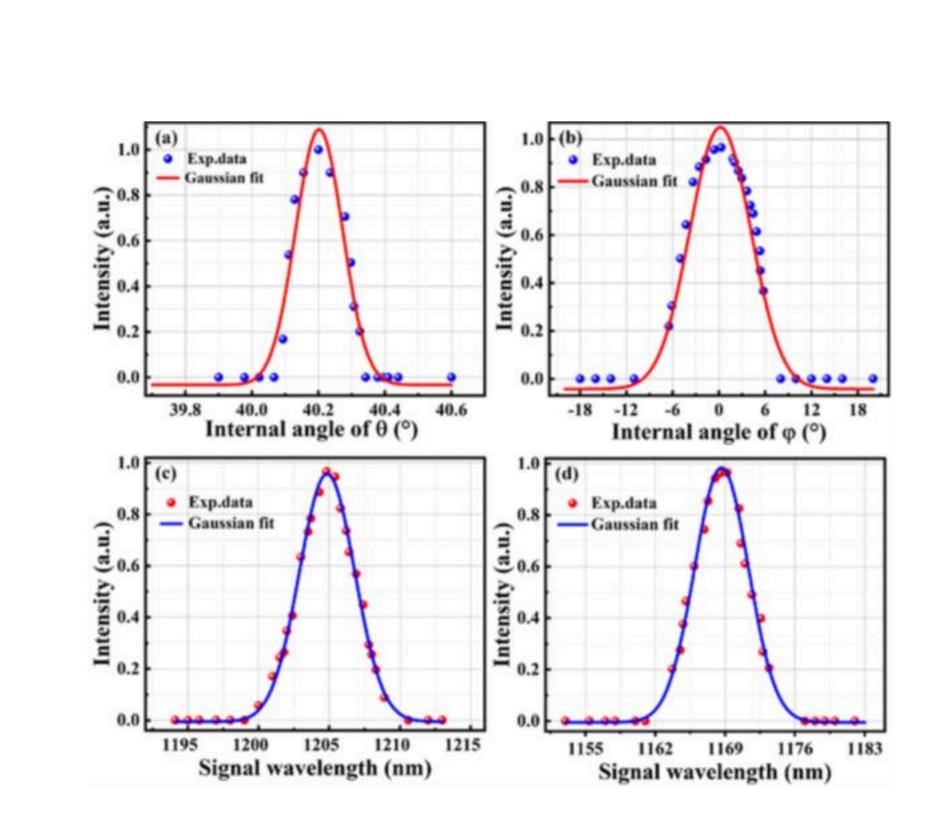






Cal: idler
× Exp: signal

Exp: idler



Настройка угла OPA с (a) BHGSe-I, (b) BHGSe-IIa и (с)

фазового синхронизма:символы (экспериментальные

BHGSe-IIb в зависимости от внутренних углов

данные) и кривые (рассчитанные с помощью

Нормализованная эффективность преобразования угла РМ (a) ОРА типа I в зависимости от  $\theta$  около 40,2° для BHGSe-I; (б) ОРА типа II в зависимости от  $\phi$  около 0° для BHGSe-IIb; (в) OPA типа I в зависимости от длины волны сигнала около 1205 нм для BHGSe-I; (d) OPA типа II в зависимости от длины волны сигнала около 1168 нм для BHGSe-IIb.

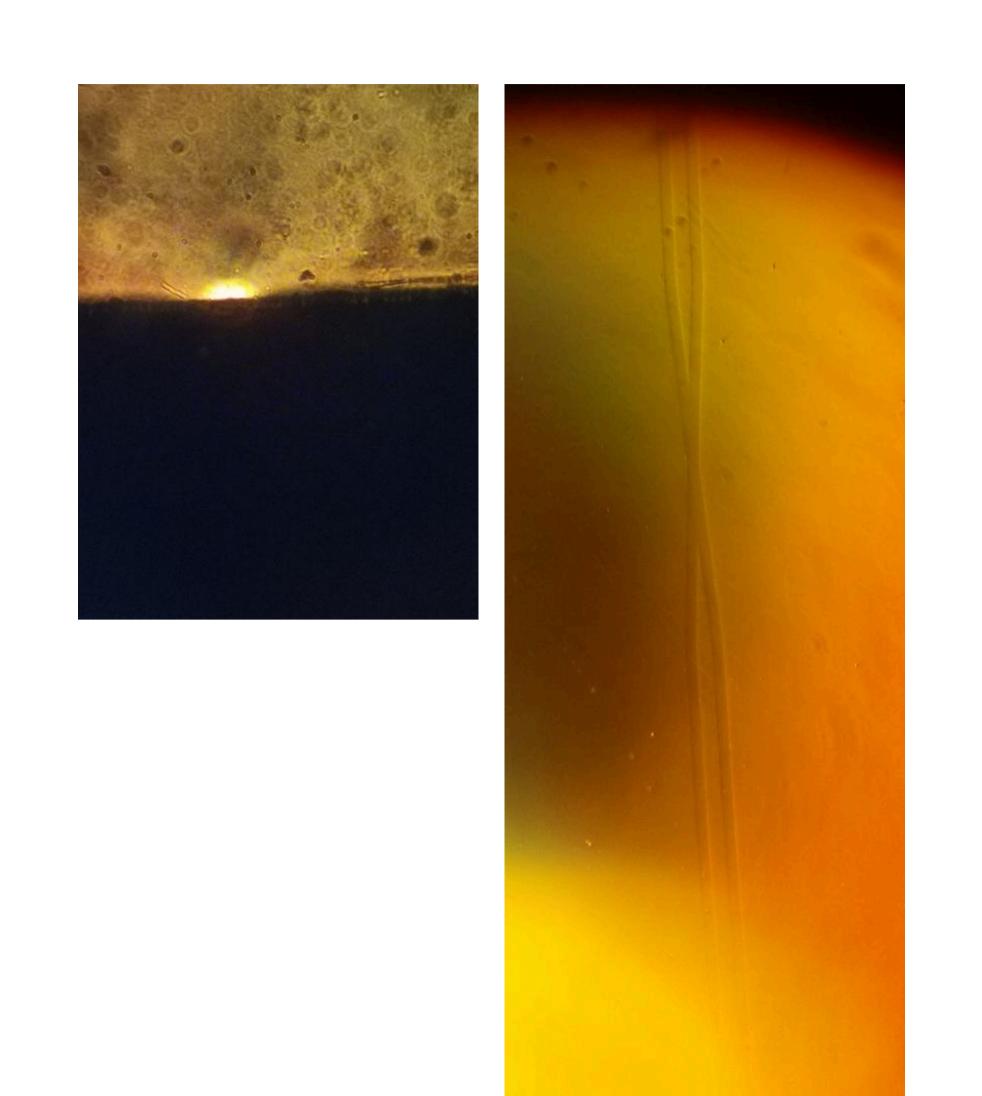
Jing-Jing Zhang, Feng Yang, Chun-Xiao Li, Ji-Yong Yao, Yuan-Zhai Xu, Hong-Wei Gao, Da-Fu Cui, Valeriy V. Badikov, Yong Bo, Ru-Kang Li, and Zu-Yan Xu, "High-energy MIR picosecond optical parametric amplifier with ultra-wide tunability spanning from 3 to 14 µm based on BaHgGeSe4 crystal," Opt. Lett. 50, 984-987 (2025)

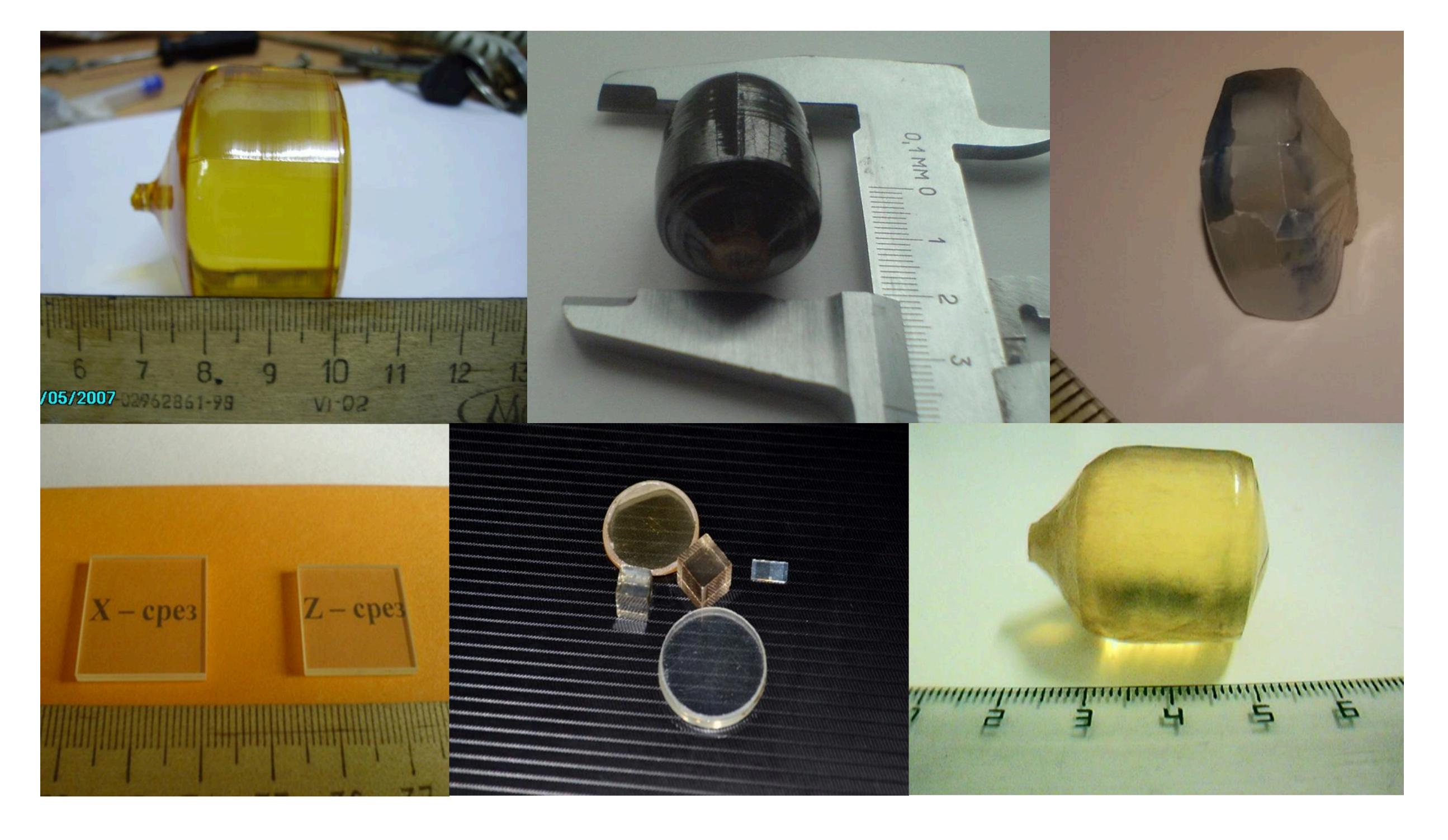


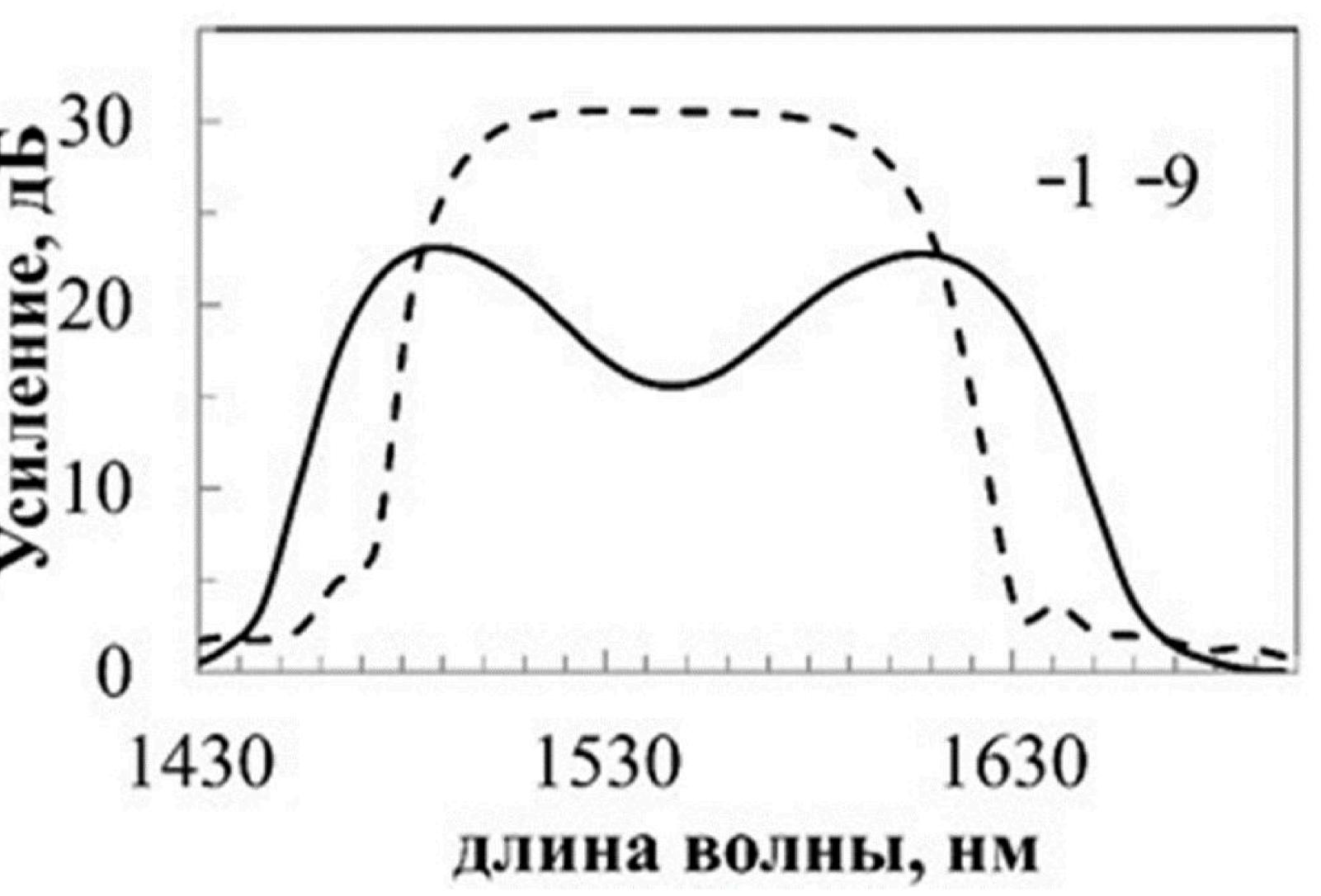


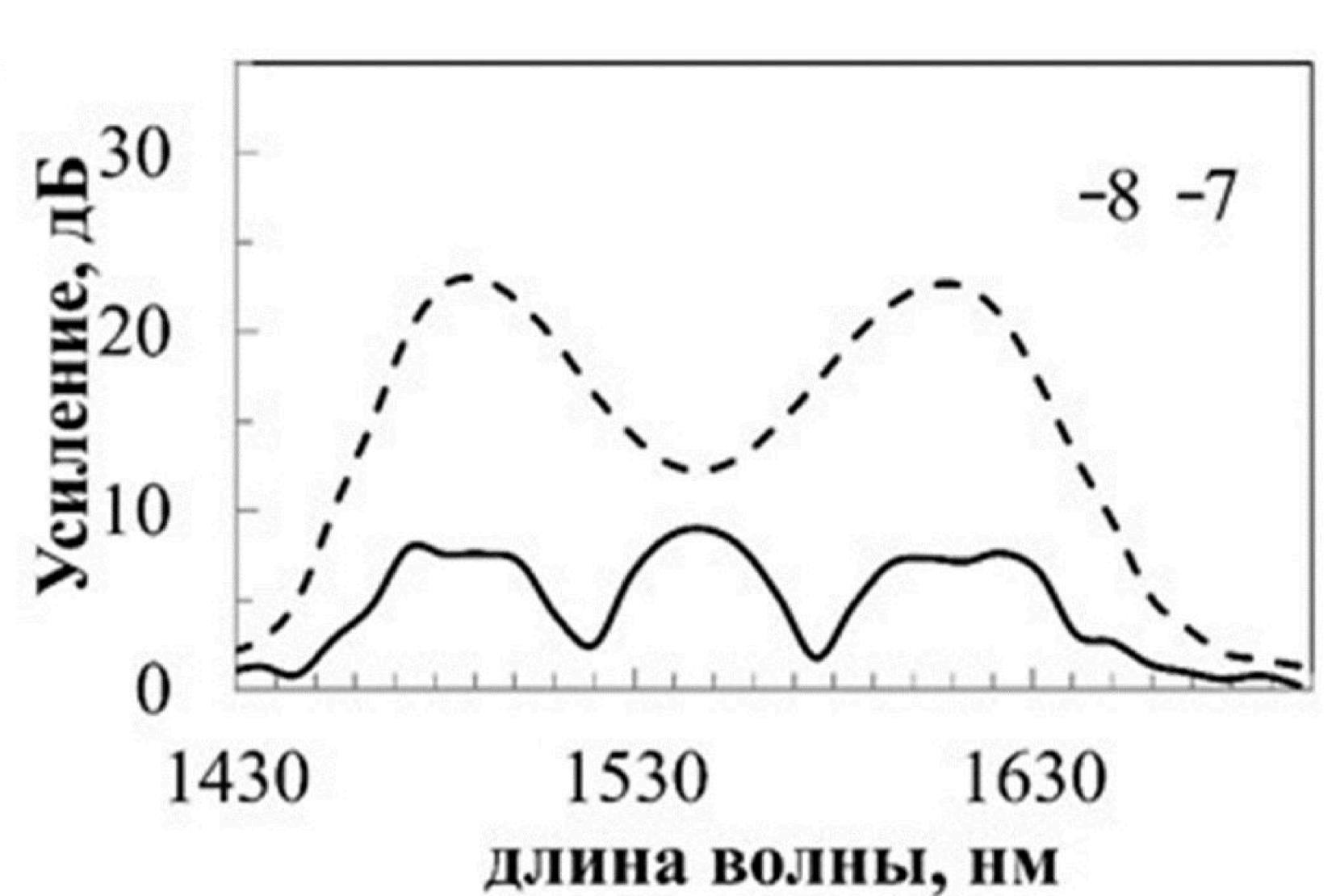
### Материалы для электрооптики и акустооптики







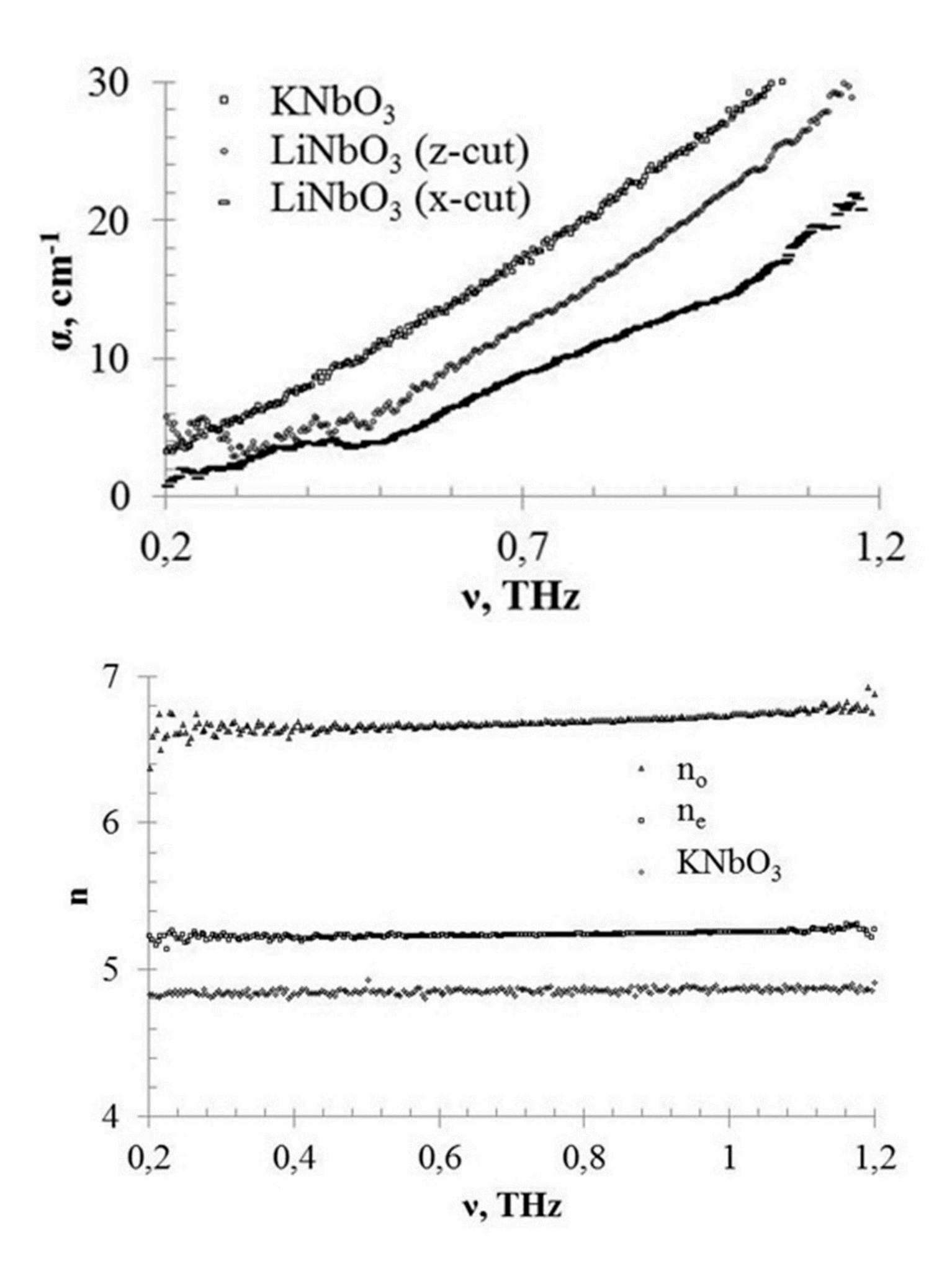




#### Ниобат лития

- Конгруэнтный
- Активированный магнием
- Градиентный
- Стехиометрический

#### Ниобат калия



# Фазочувствительный усилитель на основе cSHG/DFG процессов в PPLN волноводе

Одно из важных отличий – наличие градиента состава кристалла, из которого изготавливается PPLN с волноводом.

Наличие градиента состава в PPLN приводит к градиенту фазового рассогласования по длине из-за зависимости показателя преломления взаимодействующих волн в диапазоне 1,5 мкм



MDPI

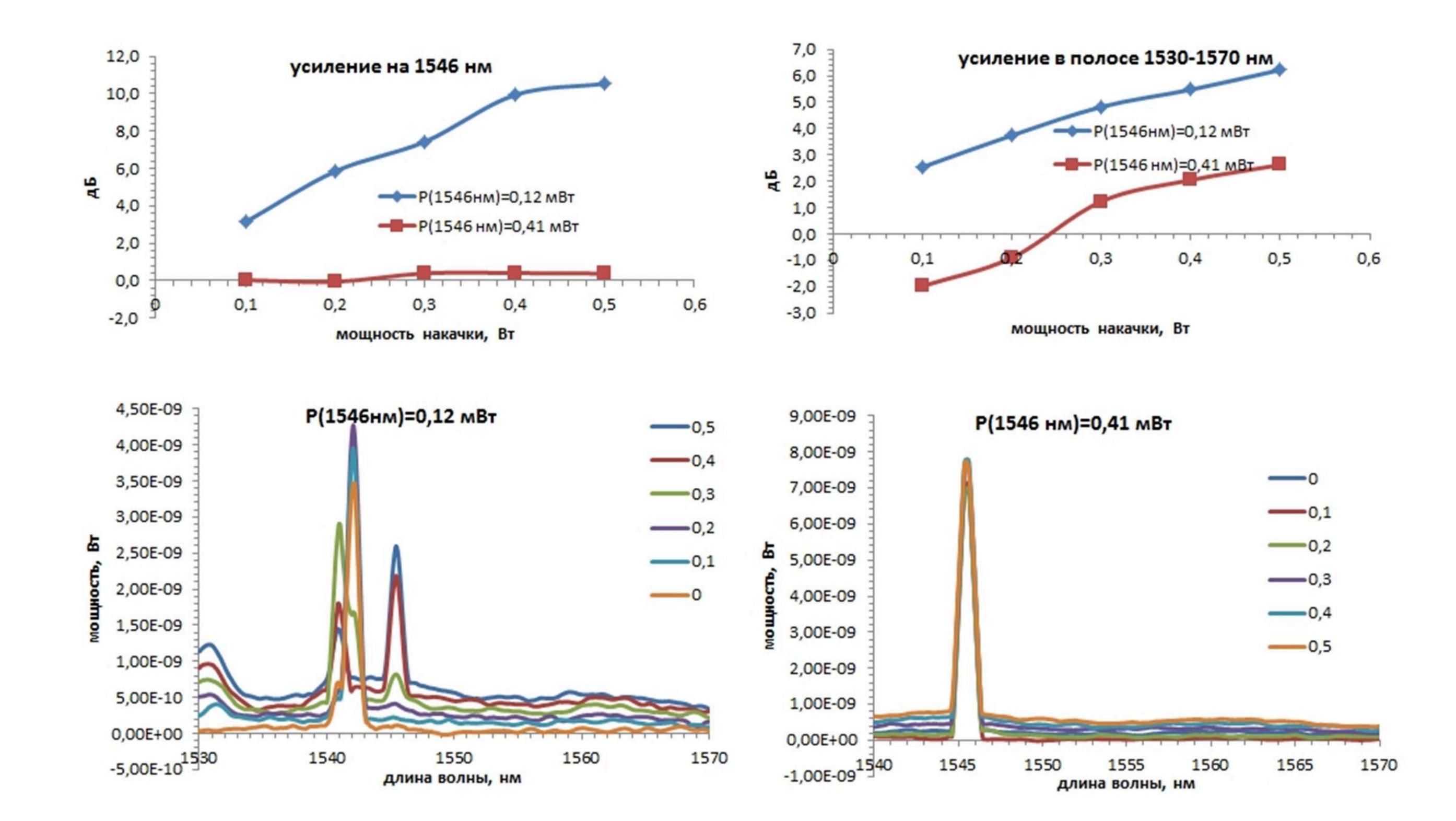
Article

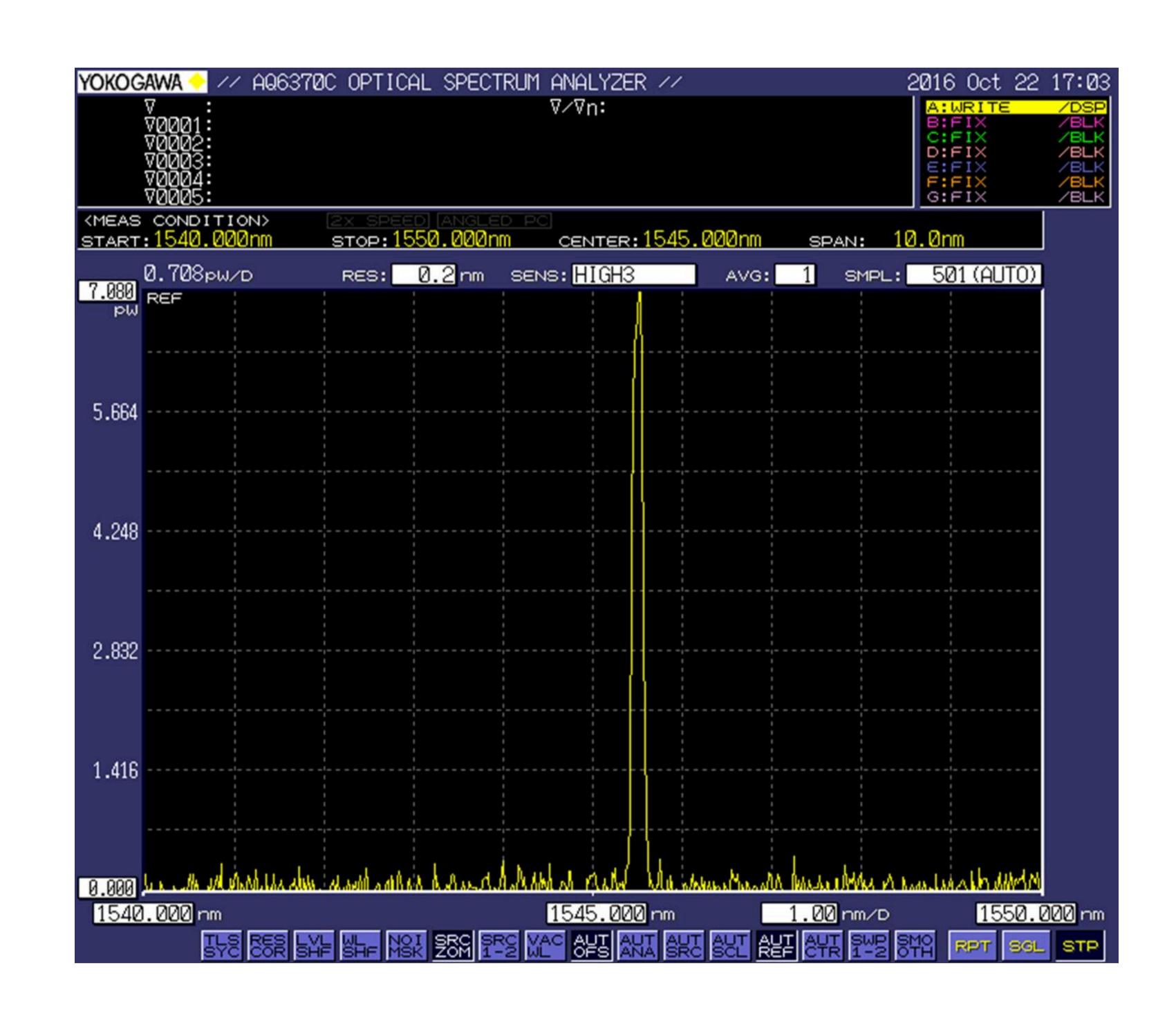
Features of the Defect Structure of the Compositionally Homogeneous Crystal LiNbO<sub>3</sub>:Er<sup>3+</sup>(3.1 wt%) and the Gradient Crystal LiNbO<sub>3</sub>:Er<sup>3+</sup> and Their Manifestation in the IR Transmission Spectra in the Region of Stretching Vibrations of Hydrogen Atoms of OH<sup>-</sup>-Groups

Nikolay Sidorov <sup>1</sup>, Alexander Pyatyshev <sup>2</sup>,\*<sup>1</sup>, Elena Stroganova <sup>3</sup>, Valeriy Galutskiy <sup>3</sup>, Andrey Bushunov <sup>4</sup> and Mikhail Tarabrin <sup>4</sup>

- Tananaev Institute of Chemistry—Subdivision of the Federal Research Centre, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (ICT RAS), 184209 Apatity, Russia; n.sidorov@ksc.ru
- P. N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, 119991 Moscow, Russia
  Department of Optoelectropics, Kuban State University, Stayropolskaya, 149, 350040 Krasnodar
- Department of Optoelectronics, Kuban State University, Stavropolskaya 149, 350040 Krasnodar, Russia; stroganova@phys.kubsu.ru (E.S.); galutskiy17v@mail.ru (V.G.)
- Infrared Laser Systems Laboratory, Bauman Moscow State Technical University, 2nd Baumanskaya Str., 5, b. 1, 105005 Moscow, Russia; zendel@yandex.ru (A.B.); tarabrinmike@yandex.ru (M.T.)
- \* Correspondence: jb\_valensia@mail.ru

Abstract: Based on the analysis of the IR transmission spectra in the region of stretching vibrations of hydrogen atoms of  $OH^-$ -groups, it was established that the oxygen-octahedral MeO<sub>6</sub> clusters (Me-Li<sup>+</sup>, Nb<sup>5+</sup>, vacant octahedron V, impurity ion) of the structure of the compositionally homogeneous crystal LiNbO<sub>3</sub>:Er<sup>3+</sup>(3.1 wt%) and the gradient crystal LiNbO<sub>3</sub>:Er<sup>3+</sup>(congruent composition by the main components, Er gradient of 0.55 at%/cm) have a shape close to the regular one. In this case, the value of  $R = [Li]/[Nb] \approx 1$ , and in the structure of both crystals, there are practically no point defects in Nb<sub>Li</sub> responsible for the photorefraction effect. By using the IR transmission spectra and Klauer's method, it was found that the volume concentration of  $OH^-$ -groups in the gradient crystal LiNbO<sub>3</sub>:Er<sup>3+</sup> is almost an order of magnitude lower than in the compositionally homoge-





Academic Editors: Jozef Maščenik and Tibor Krenicky

Received: 17 December 2024

Revised: 14 January 2025

Accepted: 21 January 2025

Published: 27 January 2025



