

Конкурс молодых ученых – 2023 по присуждению премий имени выдающихся ученых СО РАН
Премия имени В.П. Чеботаева – за работы в области квантовой электроники и лазерной физики

Цикл научных работ: Разработка и создание широко перестраиваемых в среднем ИК диапазоне источников излучения на основе параметрических генераторов света с узкой линией для применений в современной медицине

Костюкова Надежда Юрьевна

к.ф.-м.н.,

Зав. лаборатории квантовых оптических технологий (ЛКОТ)

Данные об авторе работы

Фамилия Имя Отчество	Костюкова Надежда Юрьевна
Ученая степень	к.ф.-м.н.
Год присуждения ученой степени	2018
Полное название организации – основного места работы	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук
Должность по основному месту работы	Заведующая Лаборатории квантовых оптических технологий (Лаб. 2.4)
Scopus ID	56681970000
Кол-во публикаций (Scopus)	66
h-индекс	12
Награды	<ul style="list-style-type: none">• 2019 г. - медаль молодым ученым имени проф. В.С.Летохова за новаторские работы по лазерной физике, спектроскопии и их приложениям.• 2022 г. - премия мэрии города Новосибирска в сфере науки и инноваций в номинации "– «Лучший молодой исследователь в организациях науки».• 2023 г. - именная премия Правительства Новосибирской области за выдающиеся научные достижения в номинации "– «Лучший молодой исследователь».

Цикл научных работ

1. **Костюкова Н. Ю.**, Ерушин Е. Ю., Бойко А. А, Колкер Д. Б. Источник излучения на основе параметрического генератора света с кристаллом MgO:PPLN и объемной брэгговской решеткой, перестраиваемый в диапазонах 2050–2117 и 2140–2208 нм // Квантовая электроника. – 2022. – Т. 52, №2. – С. 144–148

[Переводная версия: **N.Yu. Kostyukova** et al 2022 Quantum Electron. 52 144] <https://doi.org/10.1070/QEL17981>] (CiteScore 1.27 Q2, SJR 2021 0.4, WOS, Scopus)

2. **Костюкова Н. Ю.**, Ерушин Е. Ю., Бойко А. А, Колкер Д. Б. Узкополосный параметрический генератор света на основе периодически-поляризованной структуры ниобата лития с объемной брэгговской решеткой // Приборы и техника эксперимента. – 2022. – №6. – С. 78-86. <https://doi.org/10.31857/S0032816222060076>

[Переводная версия: **Kostyukova N.Y.**, Erushin E.Y., Boyko A.A., Kolker D.B. A Narrow-Band Optical Parametric Oscillator Based on a Periodically Polarized Structure of Lithium Niobate with Volume Bragg Grating // Instrum Exp Tech. – 2022 – Vol. 65. – P. 934–941. <https://doi.org/10.1134/S0020441222060069> (IF 2021 0.526 Q3, SJR 0,32, WOS, Scopus)]

3. Бойко А.А., Ерушин Е.Ю., **Костюкова Н.Ю.**, Мирошниченко И.Б., Колкер Д.Б. Параметрический генератор света в среднем инфракрасном диапазоне на основе веерной периодически-поляризованной структуры ниобата лития с задающим узкополосным лазером // Приборы и техника эксперимента. – 2021. – № 2. – С. 83-87. <https://doi.org/10.31857/S0032816221020026>

[Переводная версия: **Boiko A.A.**, Erushin E.Yu., **Kostyukova N.Yu.**, Miroshnichenko I.B., Kolker D.B. An optical parametric oscillator in the mid-ir range based on a fan-out periodically poled structure of lithium niobate with a narrow-band seeding laser // Instruments and Experimental Techniques. - 2021. - V. 64. № 2. - P. 254-258. <https://doi.org/10.1134/S0020441221020020> (IF 2021 0.526 Q3, SJR 0,32, WOS, Scopus)]

4. Erushin E., Nyushkov B., Ivanenko A., Boyko A., **Kostyukova N.**, Kolker D., Akhmathanov A., Shur V. Tunable injection-seeded fan-out-PPLN optical parametric oscillator for high-sensitivity gas detection // Laser Physics Letters. – 2021. – Vol. 18. № 11. – P. 116201. <https://doi.org/10.1088/1612-202X/ac2585> (IF 2021 1,704 Q2, SJR 0,49, WOS, Scopus)

5. Erushin E.Y., **Kostyukova N.Y.**, Nyushkov B.N., Boyko A.A., Kiryakova A.Y., Kolker D.B. Spectral Narrowing Techniques for Optical Parametric Oscillators at Near and Mid-IR Region. In Proceedings of the 2021 15th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2021, 2021, pp. 662–665. <https://doi.org/10.1109/APEIE52976.2021.9647581>

Актуальность

На сегодняшний день задача разработки источников когерентного излучения с узкой линией, перестраиваемых в среднем инфракрасном (ИК) диапазоне, является актуальной.

- ❖ в этой части спектра находятся основные окна прозрачности атмосферы;
- ❖ широко представлены характеристичные линии поглощения колебательно-вращательных переходов различных газов (H_2O , CO_2 , CH_4 , NH_3 , CO , NO , N_2O и др.);
- ❖ области прозрачности многих биологических объектов и соединений биологического происхождения, оптических и полупроводниковых материалов.

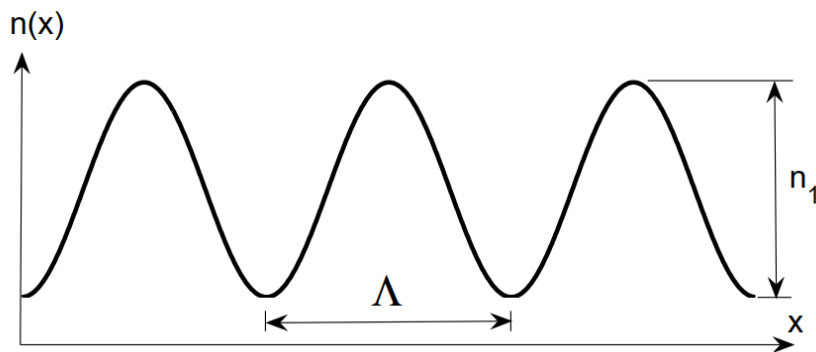
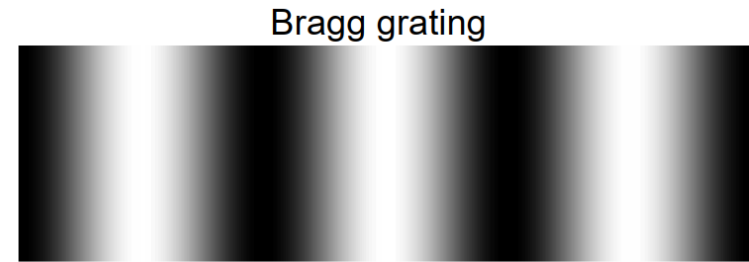
Источники с $\lambda \sim 2,1$ мкм

- Мониторинг атмосферы (CO_2 , N_2O):
- Нейрохирургия;
- Отоларингология;
- Урология;
- Накачка ПГС.

Источники с $\lambda \sim 3,3$ мкм

- Неинвазивная диагностика:
Углеводороды – биомаркеры
 C_2H_6 : болезнь Альцгеймера, атеросклероз, диабет, рак легких;
 C_5H_8 : рак легких, контроль уровня холестерина;
 C_5H_{12} : муковисцидоз, рак легких;
 CH_4 : заболевания ЖКТ.
- Мониторинг атмосферы;
- Промышленный мониторинг.

Источник излучения на основе ПГС с кристаллом MgO:PPLN и ОБР с длиной волны $\sim 2,1$ мкм



Объемная брэгговская решетка:
синусоидальная модуляция
показателя преломления в
направлении распространения.

Отражённая длина волны рассчитывается исходя из условия Брэгга — Вульфа

$$\lambda_B = 2n\Lambda$$

Ширина полосы отражения рассчитывается в соответствии с

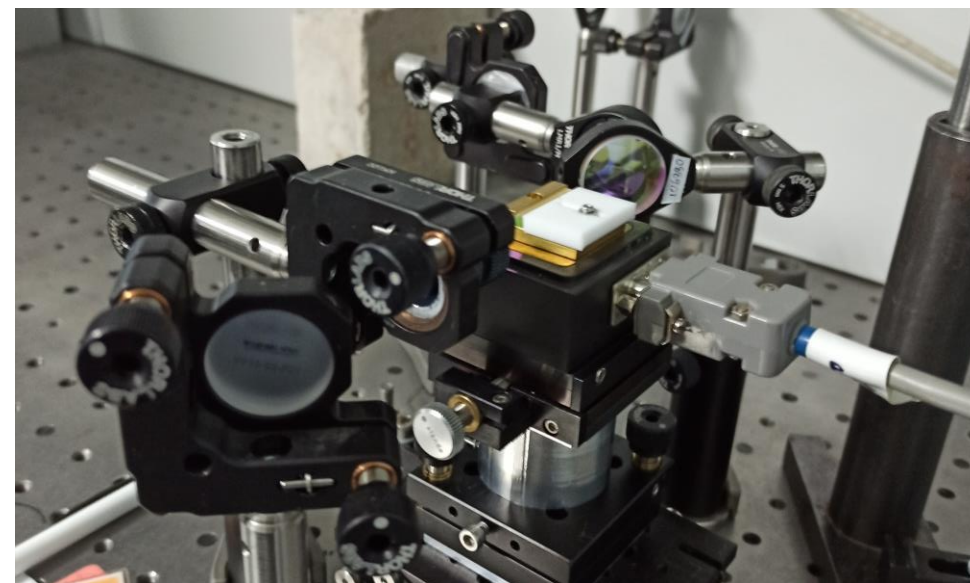
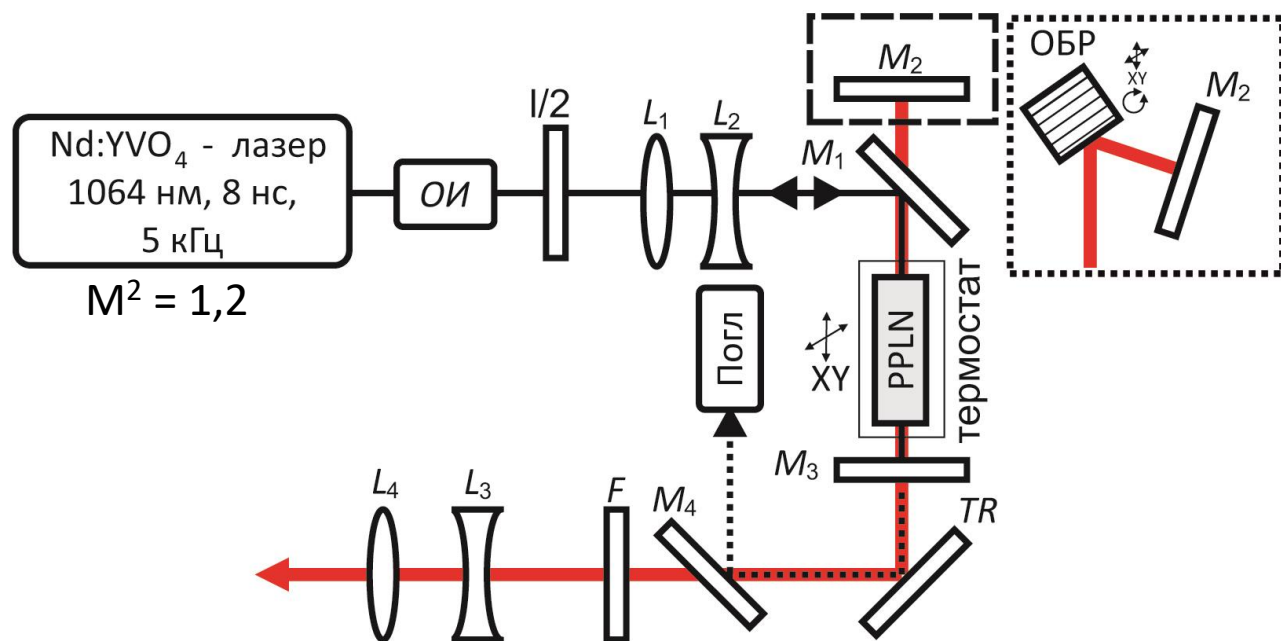
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda}{2nd} = \frac{\Lambda}{d} = \frac{1}{N}$$

d – толщина решетки;

N - количество периодов решетки в материале

Впервые ОБР для ПГС: Jacobsson *et al.* in 2005 [[Opt. Lett. 30, 2281-2283](#)]

Источник излучения на основе ПГС с кристаллом MgO:PPLN и ОБР с длиной волны $\sim 2,1$ мкм



Кристалл MgO:PPLN

(HC Photonics)

Апертура: 3 x 3 мм;

Длина: 25 мм;

$\Lambda=32,3$ мкм;

(ООО «Лабфер»)

Размеры:

2 x 2 x 20 мм

$\Lambda=32,3$ мкм.

ОБР

ИТМО совместно с АО «ЛЛС»

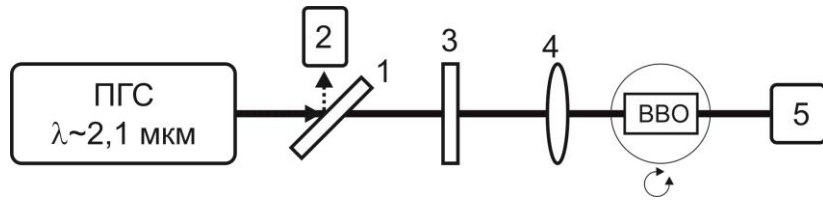
Размеры: 7x7x5 мм

$\Lambda_R=2128$ нм

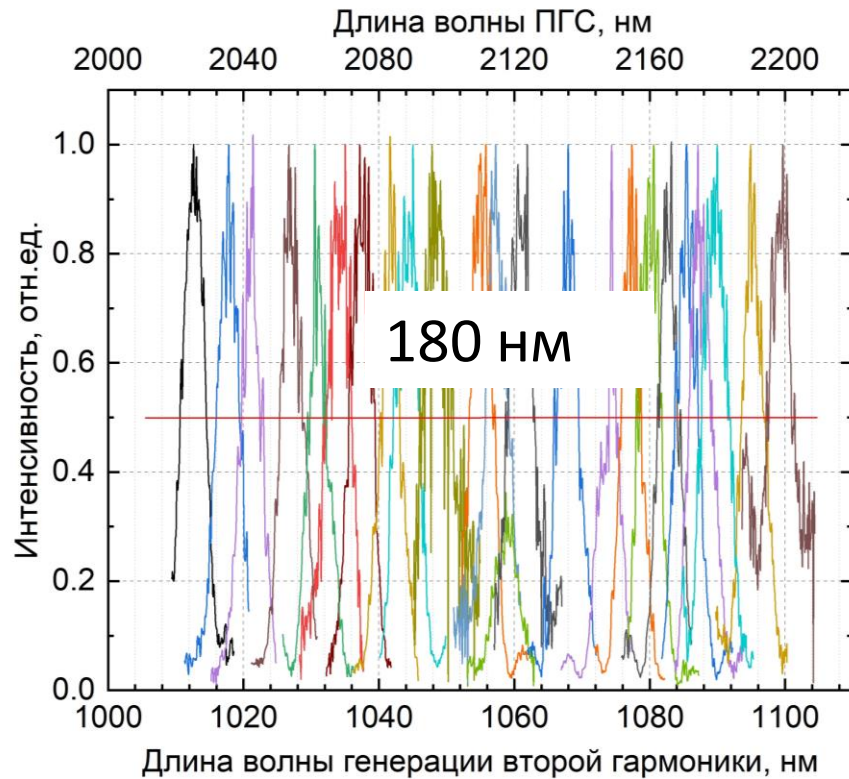
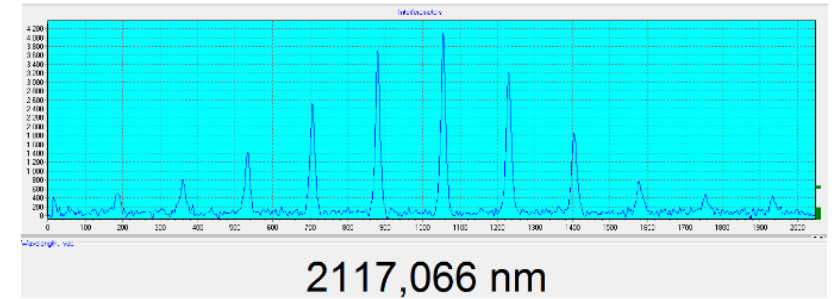
$\Lambda_R=2117$ нм ($\lambda_c=2139$ нм)

дифракционная эффективность 95%
при нормальном угле падения

ПГС с ОБР с длиной волны $\sim 2,1$ мкм



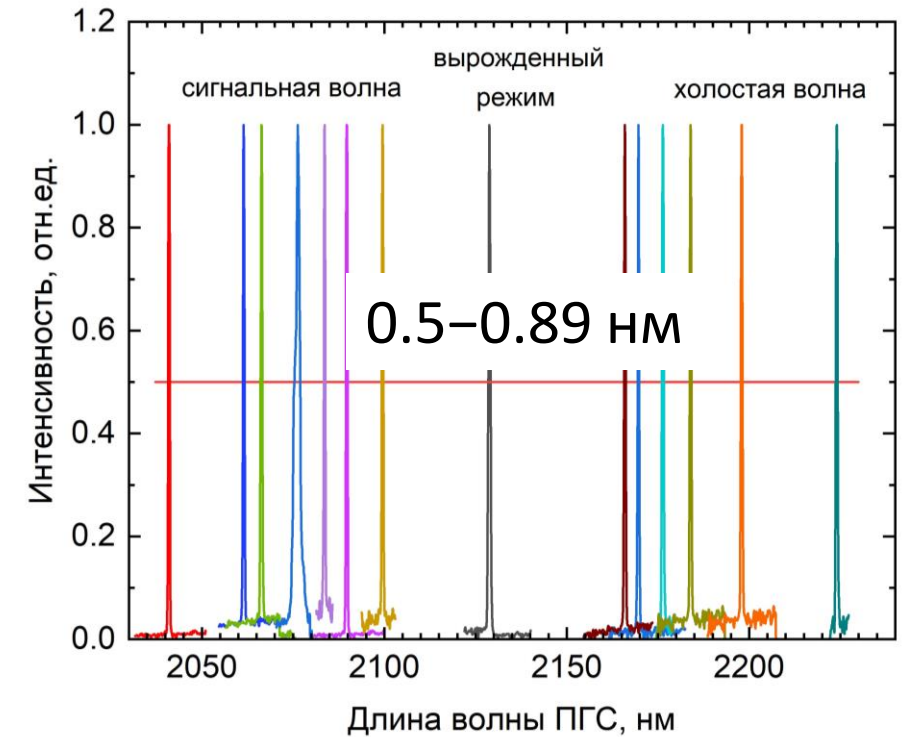
$$\begin{aligned} \varphi &= 90^\circ, \\ \theta &= 22^\circ \\ \Delta\theta &= 0.063^\circ \end{aligned}$$



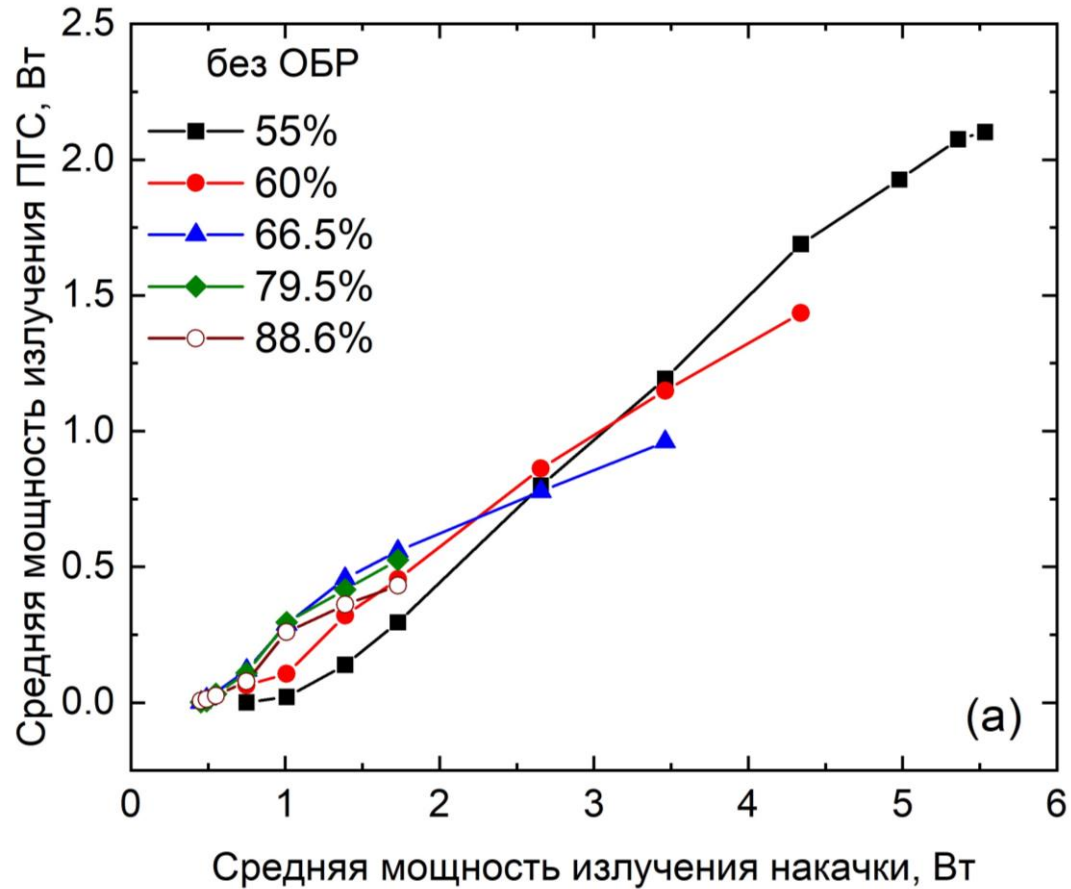
WS/5L VisIR2
(HighFinesse/Ångstrom):
500–2250 нм и
разрешением 30 нм (2 ГГц)

2041–2128 нм
для сигнальной волны

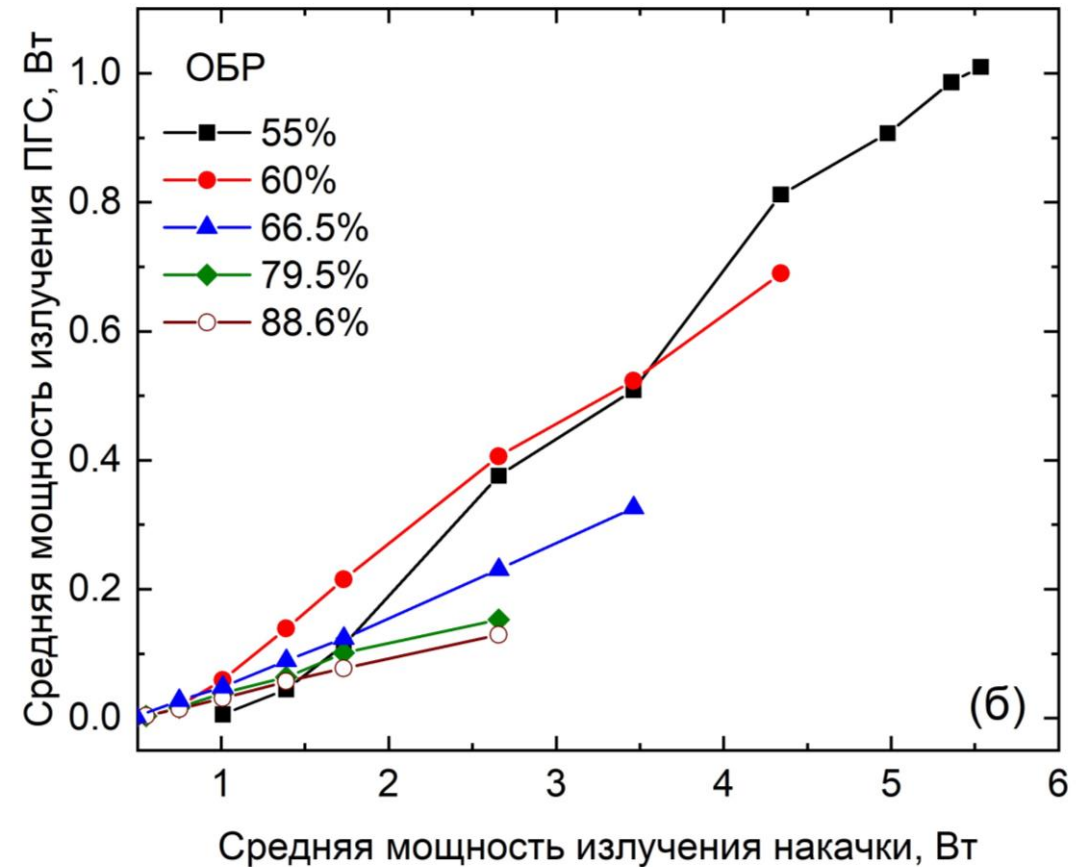
2128 – 2224 нм
для холостой волны



ПГС с ОБР с длиной волны $\sim 2,1$ мкм

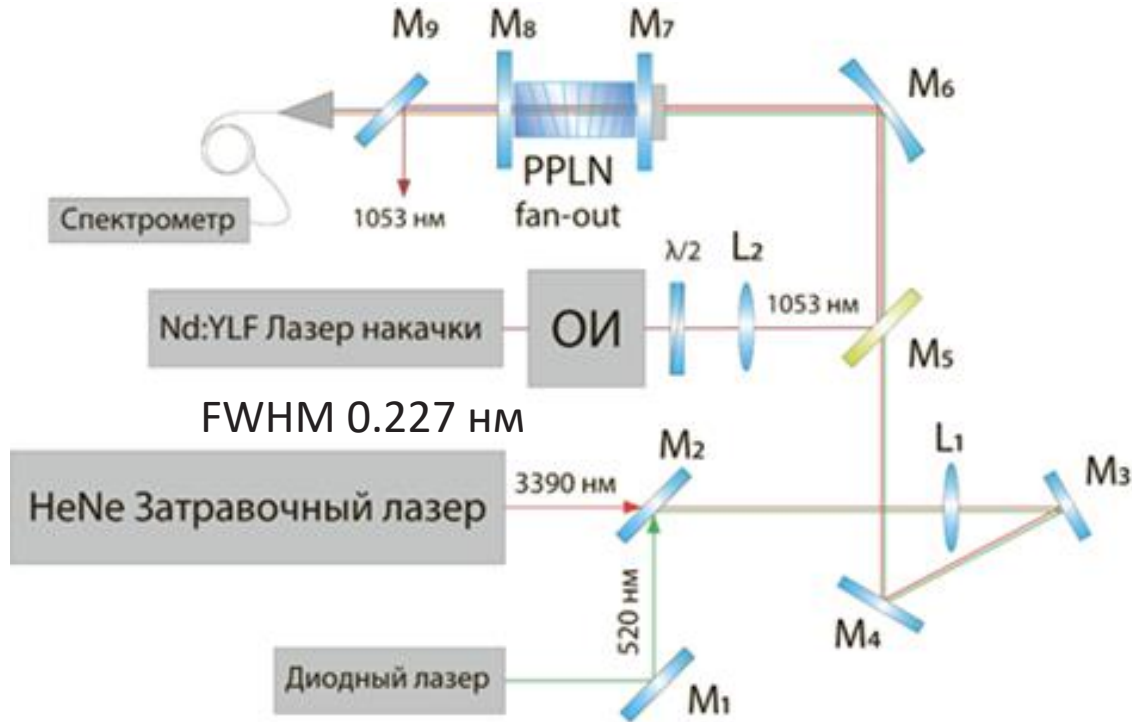


Максимальный уровень мощности излучения ПГС 2.1 Вт достигнут при использовании зеркала с коэффициентом отражения 55%, при этом эффективность преобразования составила 38.6%.

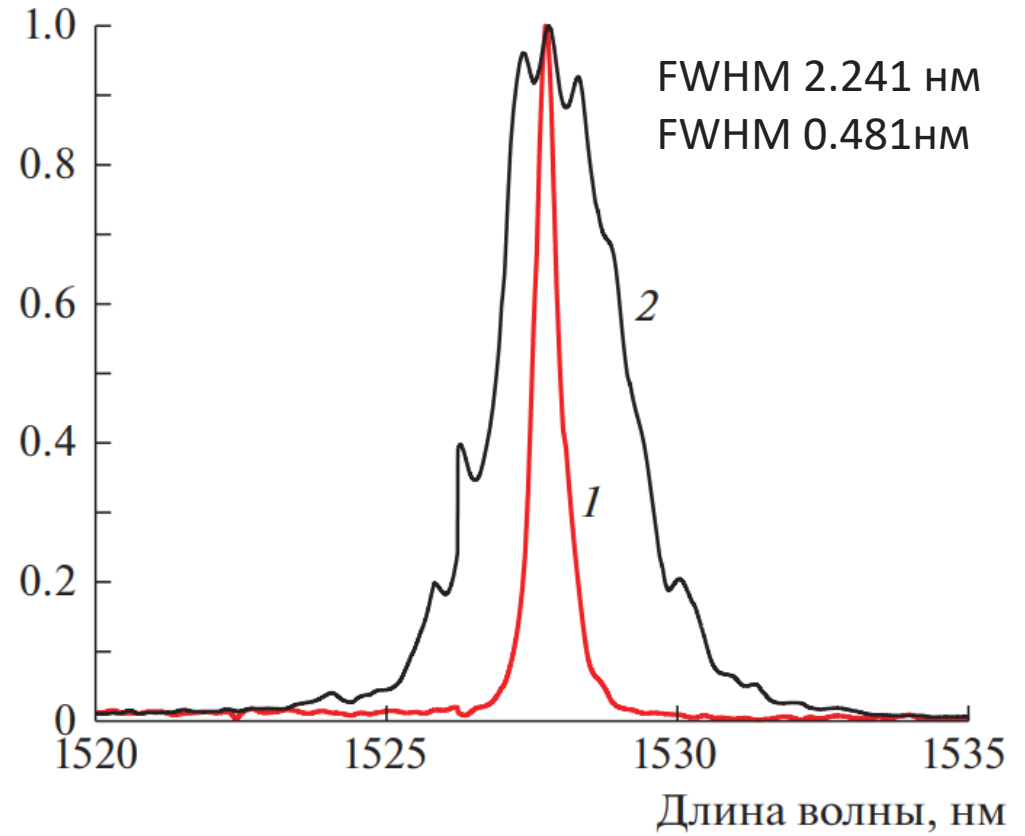


Максимальный уровень мощности 1.01 Вт также достигнут при использовании зеркала с коэффициентом отражения 55%, при этом эффективность преобразования составила 18.7%

Источник излучения на основе ПГС с кристаллом MgO:PPLN с длиной волны $\sim 3,3$ мкм с задающим генератором



Интенсивность, отн. ед.



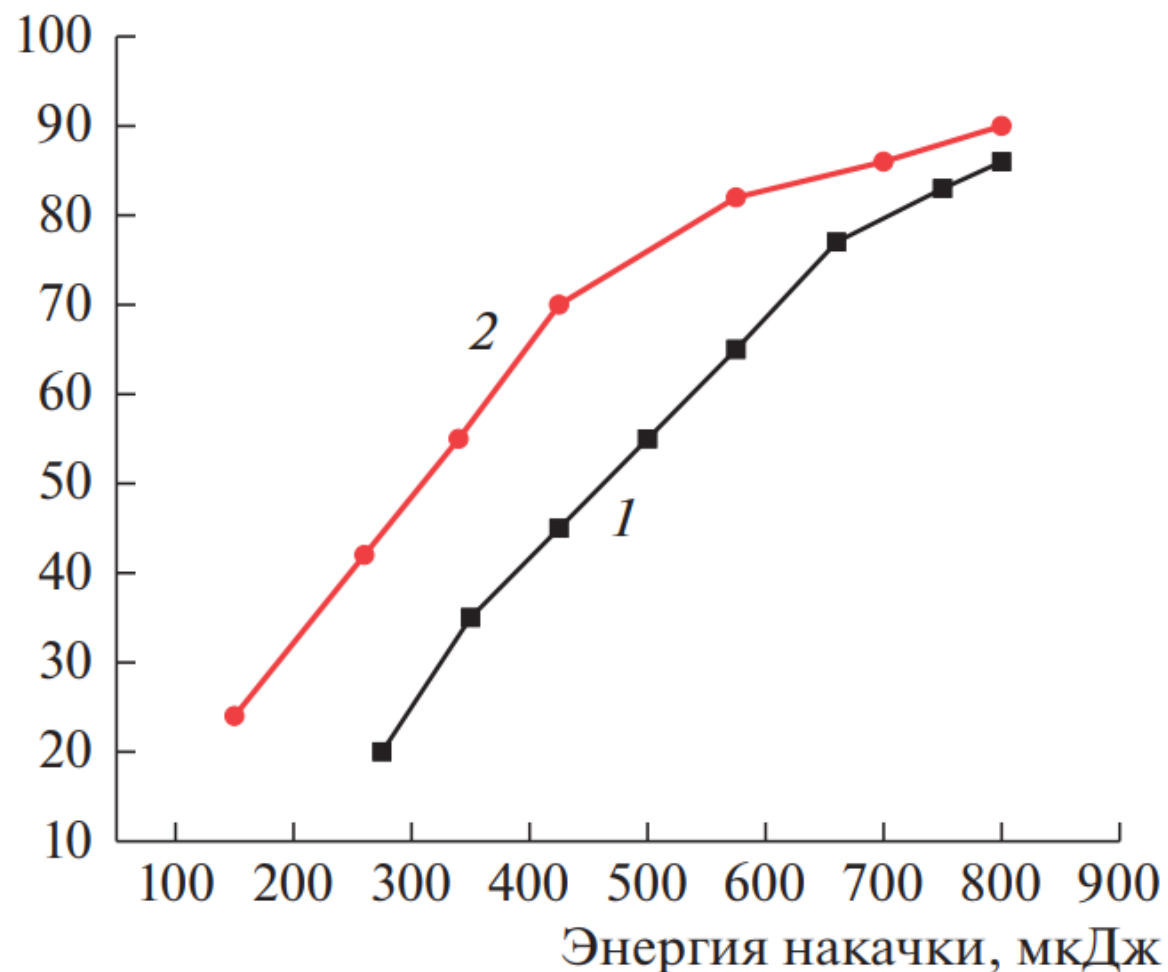
Кристалл MgO:PPLN

(ООО «Лабфер»)

Апертура: 3 x 20 мм; Длина: 50 мм; $\Lambda=27,45-32,42$ мкм;

ПГС с задающим генератором

Выходная энергия п.г.с., мкДж



Эффективность преобразования энергии накачки в энергию ПГС при частоте 1 кГц без задающего генератора составила $\sim 11.3\%$, а квантовая эффективность $\sim 36.4\%$.

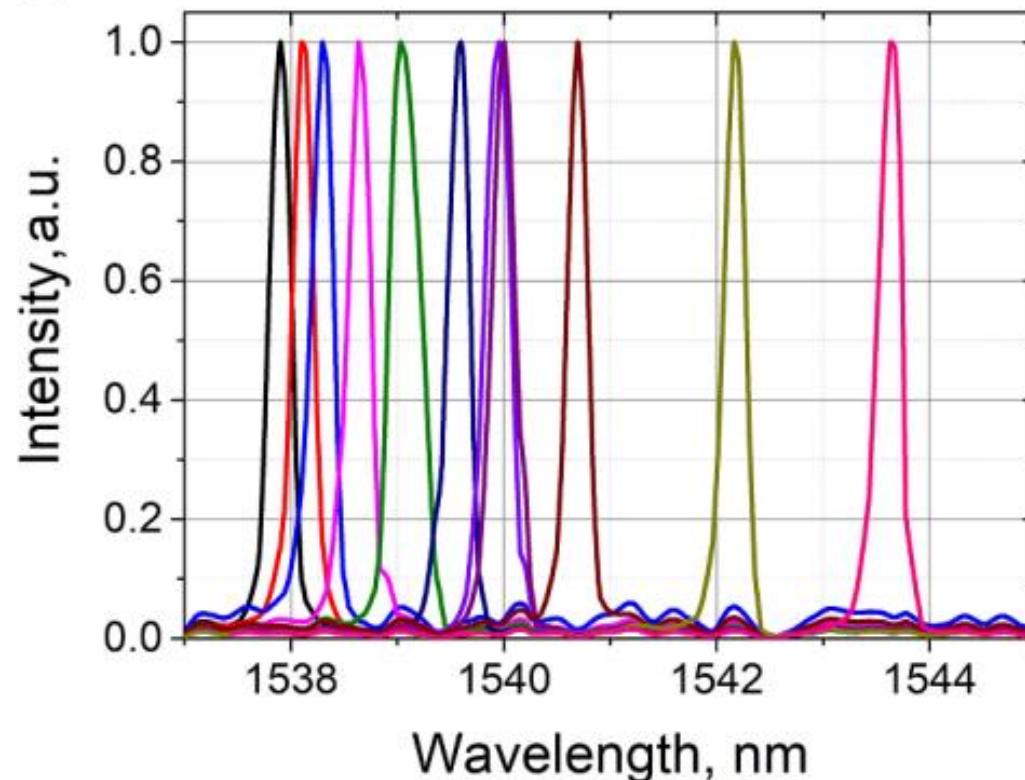
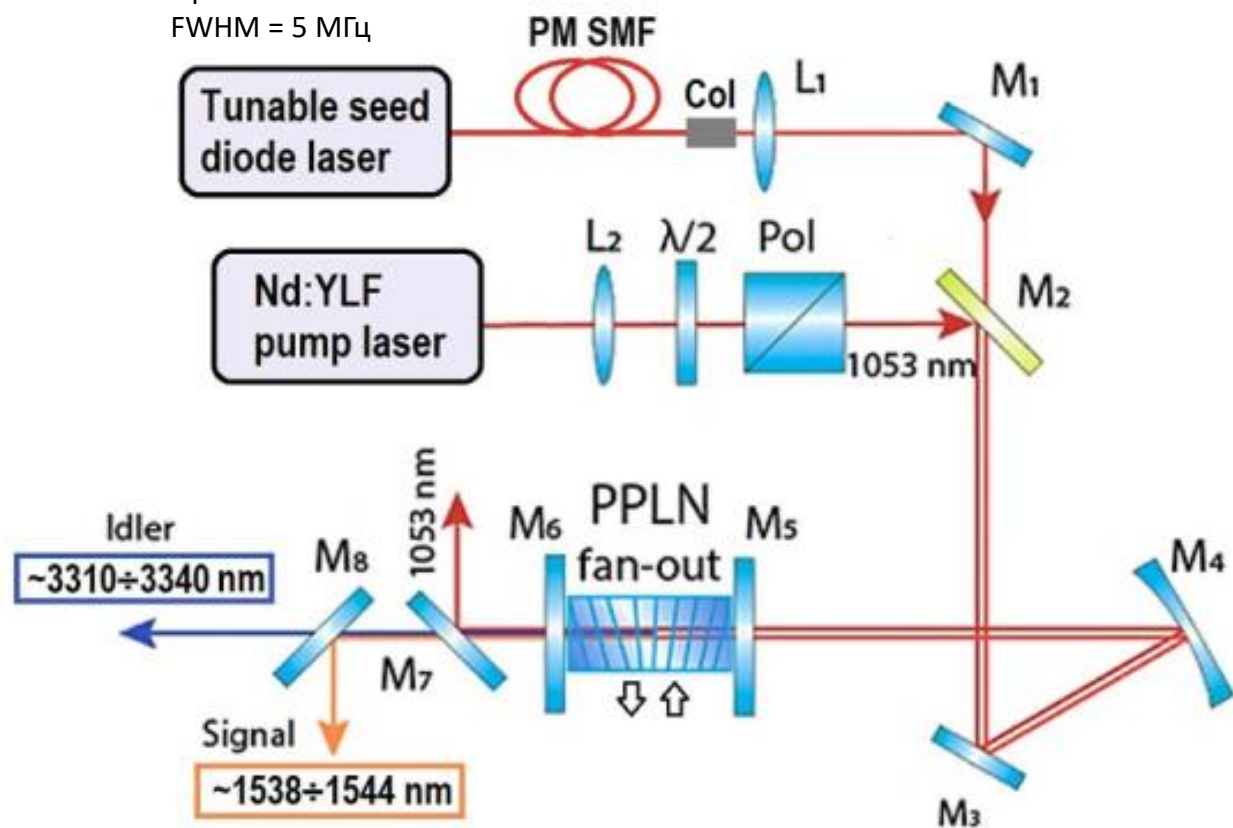
Эффективность с инъекцией излучения задающего генератора возросла до $\sim 16.1\%$, а квантовая эффективность – до $\sim 51.8\%$.

При инъекции излучения задающего лазера порог генерации был снижен со 120 до 78 мкДж.

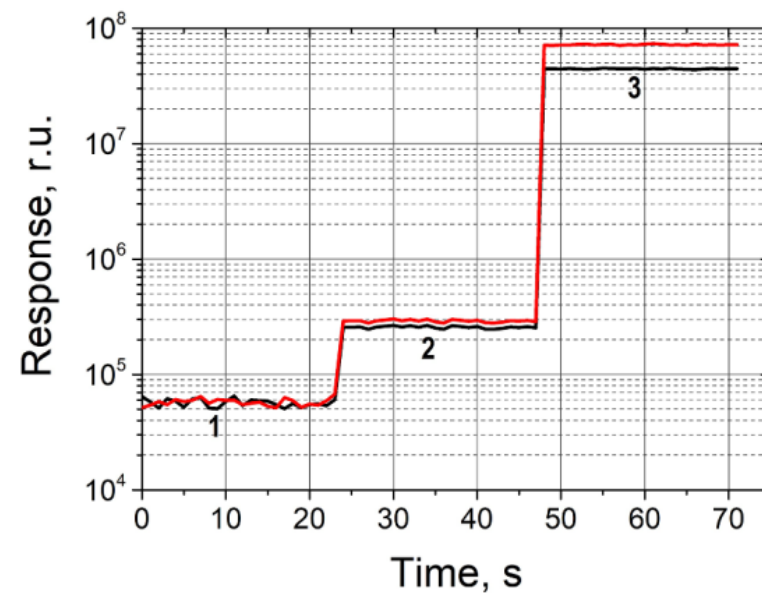
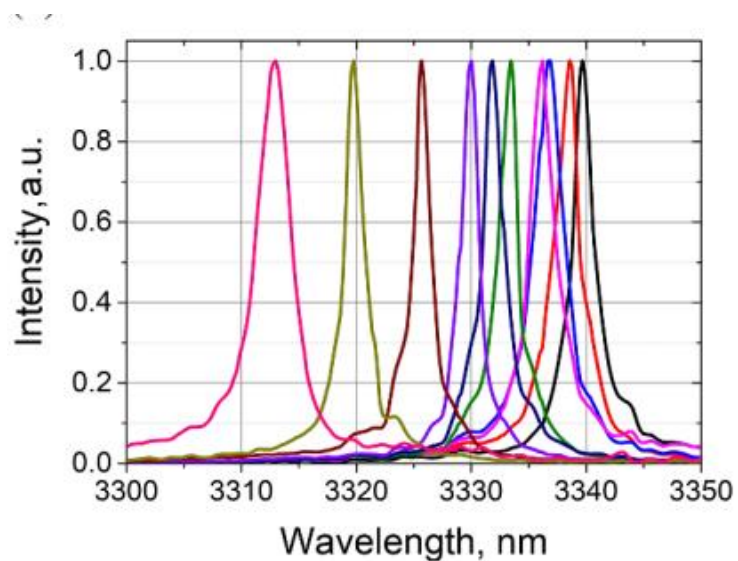
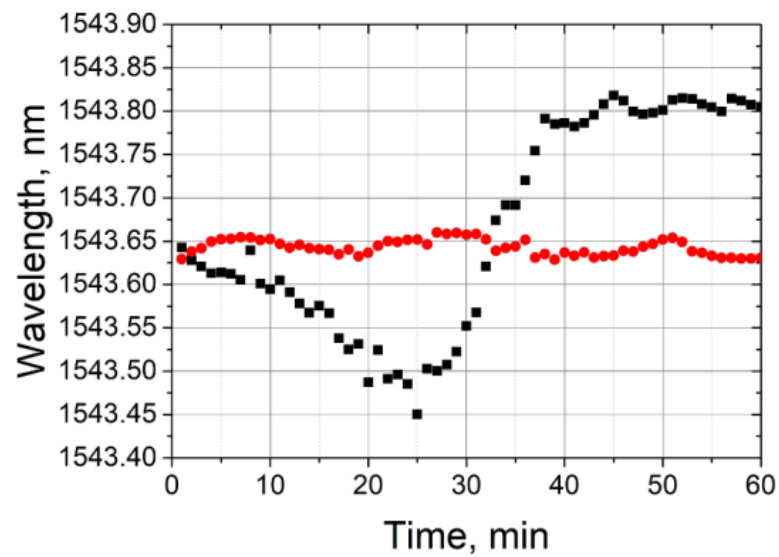
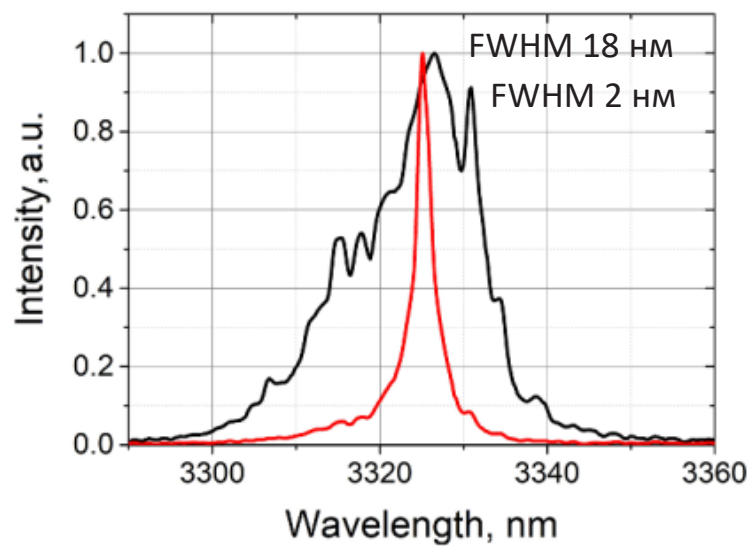
При использовании задающего He–Ne лазера наблюдалось увеличение сигнала оптико-акустического детектора в 1.7 раза при записи поглощения в калибровочной смеси 1000 ppm CH_4 в сухом азоте

Источник излучения на основе ПГС с кристаллом MgO:PPLN с длиной волны $\sim 3,3$ мкм с задающим генератором

Optilab DFB-1550-DM-4
FWHM = 5 МГц



ПГС с задающим генератором



Результаты

- впервые продемонстрирован столь широкий диапазон плавной перестройки ПГС, 2041–2128 нм для сигнальной волны и 2128 –2224 нм для холостой волны с шириной линии порядка 0,5-0,89 нм при уровне выходной мощности порядка 1 Вт (200 мкДж при частоте следования 5 кГц).
- Использование He-Ne лазера в качестве задающего генератора в ПГС на основе PPLN обеспечило снижение порога генерации ПГС в 1.5 раза и позволило уменьшить ширину линии до 0,48 нм (в 4.65 раза) на длине волны 3,39 мкм, и увеличить отклик ОАД, наполненного тестовой газовой смесью метана с концентрацией 1000 ppm в азоте, в 1,6 раз.
- Использование инжектирующего диодного лазера, перестраиваемого в диапазоне ~1538–1544 нм позволило уменьшить ширину линии излучения с 18 нм до 2 нм, обеспечило возможность перестройки длины холостой волны в спектральной области 3310-3340 нм, увеличило спектральную интенсивность и позволило улучшить концентрационную чувствительность газоанализатора метана более чем в 2 раза. При этом порог чувствительности метана составил примерно 100 ppb.

Спасибо за внимание

Выражаю глубокую благодарность всем соавторам представленных работ,
в особенности Д. Б. Колкеру, А. А. Бойко и Е.Ю. Ерушину