

IR-range Coherent Radiation Source Based on Parametric Light Generator

N.Yu. Dukhovnikova¹, D.B. Kolker^{1,2,3}, M.K. Starikova^{1,3}, A.A. Boiko^{1,3}, A.S. Osokin¹

¹Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

²Institute of Laser Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia

³«Special Technologies» Ltd., Novosibirsk, Russia

Parametric light generator based on AgGaS₂ (AGS) with double pass excitation has been designed. Small nanosecond Nd:YLF laser operating on 1.053 mm wavelength was used as excitation source. Excitation pulse duration was 5-10 ns for maximal pulse energy of 540 mJ on frequency 0.1-5 kHz. Generation threshold was 91 mJ in the range 3.5 mm.

Ключевые слова –Параметрический генератор света (ПГС), тиогаллат серебра (AgGaS₂), газоанализ.

I. ВВЕДЕНИЕ

В ВЫДОХЕ ЧЕЛОВЕКА СОДЕРЖИТСЯ огромное количество различных химических соединений, таких как изотопы CO₂, этилен (C₂H₄), ацетон (CH₃-C(O)-CH₃) и другие [1-3]. Некоторые молекулы, имеющие специфичность образования в организме, могут служить естественными газообразными биомаркерами. Регистрация и определение концентраций таких соединений могли бы дать ценную информацию для диагностики биохимических и физиологических процессов, протекающих в организме, как в норме, так и при заболеваниях.

Регистрация и определение концентраций искоемых соединений является очень сложной задачей, так как концентрация соединений, мешающих газоанализу, высокая, а содержание детектируемых соединений, наоборот, низкое.

В обзоре по газоанализу [1] описываются различные методы высокочувствительного газового анализа, в том числе газовая хроматография (ГХ), электрохимические сенсоры (ЭХ), оптоакустическую спектроскопию (ОАС) и лазерную спектроскопию (ЛС).

Для решения данной задачи предложен резонансный метод оптико-акустической спектроскопии, на основе которого разработан оптико-акустический лазерный газоанализатор [4].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Интенсивные линии поглощения многих химических соединений лежат в ИК-области спектра 2-20 мкм. В этой области спектра не хватает широко перестраиваемых лазеров, таких как лазеры на красителях в видимой области, или титан-сапфировый лазер в ближней ИК-области спектра.

Преобразование частоты, используемое в параметрических генераторах света (ПГС), является эффективным способом создания когерентного света в недоступной для лазеров области спектра. Управляемость и высокая выходная мощность делают ПГС привлекательным источником для многих применений, включая спектроскопию высокого разрешения, мониторинг окружающей среды, медицинские исследования.

Поэтому в качестве источника когерентного излучения в ИК-области спектра был выбран широко перестраиваемый ПГС.

III. ТЕОРИЯ

Впервые ПГС был продемонстрирован в 1965 году Джорджманом и Миллером, которые использовали кристалл LiNbO₃ [5] а несколько позднее Ахмановым и Хохловым с сотрудниками.

В качестве нелинейно-оптического кристалла может быть использован кристалл тиогаллата серебра AgGaS₂ (AGS), что и было продемонстрировано в работах [6-9].

ПГС состоит из трех основных элементов, а именно: источника накачки, активной среды и резонатора (Рис. 1). Главным элементом ПГС является нелинейно-оптический (НЛО) кристалл, который характеризуется нелинейно-оптическим коэффициентом d_{eff} .

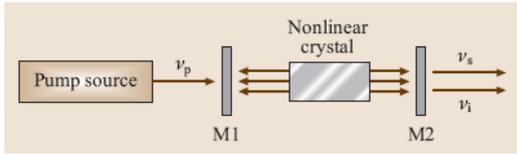


Рис. 1. Параметрический генератор света

В кристалле, фотон накачки распадается на два менее энергичных фотона (сигнальный и холостой), так что их суммарная энергия равна энергии фотона накачки (1).

$$\omega_p = \omega_s + \omega_i \quad (1)$$

Еще одно важное ограничивающее условие заключается в том, что сумма сигнального и холостого волновых векторов (К-векторы) должна быть равна К-вектору накачки – закон сохранения импульса или "фазовый синхронизм" (ФС) состояния(2).

$$k_p = k_s + k_i \quad (2)$$

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В качестве источника накачки был выбран однододовый Nd:YLF лазер с длиной волны излучения $\lambda=1053$ нм и энергией в импульсе 540 мкДж. Лазер работает в наносекундном режиме с длиной импульса 5-10 нс и частотой повторения импульсов $f=100-5000$ Гц. В кристалл тиагаллата серебра AGS (AgGaS₂: длина = 15 мм, ширина = 5 мм, высота = 5 мм), расположенный на вращающейся подвижке, вводилось излучение накачки. Кристалл ориентирован под углами $\theta=67^\circ, \varphi=0^\circ$. На гранях кристалла нанесены антиотражающие покрытия для обеспечения максимального пропускания в области 1053 мкм и в диапазоне 1.15-1.5 мкм (на сигнальной волне), тип синхронизма: II тип (eoe). Нами был получен спектр пропускания этого кристалла (Рис.2).

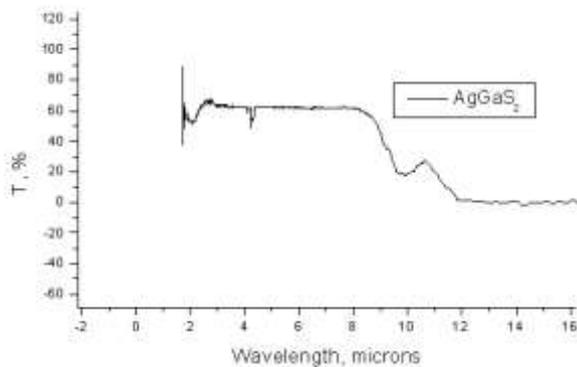


Рис. 2. Спектр пропускания кристалла AGS

Резонатор ПГС был образован двумя зеркалами M4 и M5. Расстояние между входным зеркалом M4 и кристаллом составило 3мм, а между зеркалом M5 и кристаллом - 4мм. Эти расстояния между кристаллом и оптическими зеркалами M4 и M5, соответственно,

были определены из минимального расстояния цилиндрических держателей во фланцах оптических зеркал до кристалла AGS. После полуволновой пластинки был установлен телескопический коллиматор пучка, состоящий из двух линз (первая $f=100$ мм, вторая $f=50$ мм). Линзы были установлены на расстоянии 150 мм друг от друга.

Схема экспериментальной установки представлена на Рис.3.

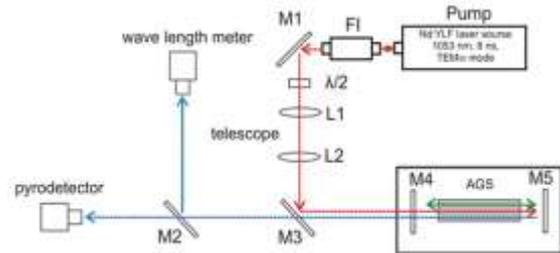


Рис. 3. Схема ПГС системы: M1 – поворотное зеркало, M2- зеркало с частичным отражением под углом 45°, M3- дихроичное зеркало, M4, M5- зеркала резонатора, Pump -лазер накачки, FI- фарадеевский изолятор, L1, L2- линзы телескопа, AGS- нелинейный кристалл тиагаллата серебра (AgGaS₂)

В данной работе были продемонстрированы 3 варианта схем ПГС с различными зеркалами.

В первом варианте реализации схемы резонатор ПГС был образован двумя плоскими зеркалами. Через зеркало M4 фирмы Layertech ($AR(0^\circ, 1064\text{nm}) < 1.0\% + AR(0^\circ, 4.0-6.0\mu\text{m}) < 2\%$, $HRr(0-15^\circ, 1310-1470 \pm 10\text{nm}) > 99.9\%$) в резонатор ПГС вводилось излучение накачки и выводилось излучение на холостой и сигнальной длинах волн. Второе зеркало резонатора M5 – плоское с серебряным напылением. Длительность импульса накачки $\tau=5-10$ нс (1000 Гц). В такой конфигурации плотность энергии порога генерации составила $J_f=13$ мДж/см² при диаметре пучка $\omega_0=1$ мм, минимальная энергия накачки, при которой наблюдалась генерация, составила $E_i=103$ мкДж.

В другом варианте реализации схемы резонатор ПГС был образован двумя зеркалами. Входным зеркалом M4 резонатора ПГС служило сферическое зеркало ZnS фирмы Laseroptics с радиусом кривизны 2000 мм (HT 1064 HT3000-10000 HR1200-1650). Второе зеркало резонатора M5 – плоское с серебряным напылением. Длительность импульса накачки $\tau=5-10$ нс (1000 Гц). В такой конфигурации плотности энергии порога генерации составила $J_f=18.72$ мДж/см² при диаметре пучка $\omega_0=1$ мм, минимальная энергия накачки, при которой наблюдалась генерация составила $E_i=147$ мкДж. Но использование данного варианта схемы уменьшает вероятность пробоя кристалла сигнальной волной внутри резонатора ПГС.

В последнем варианте реализации схемы Резонатор ПГС был образован двумя плоскими зеркалами. Через зеркало M4 ZnSe фирмы Laseroptics

(HT1053nmHR1150-1650nmHT2000-12000nm/0°) в резонатор ПГС вводилось излучение накачки и выводилось излучение на холостой и сигнальной длинах волн. Второе зеркало резонатора M5 – плоское с серебряным напылением. Длительность импульса накачки $\tau=5-10$ нс (1000 Гц). Плотность порога генерации составила при диаметре пучка 1мм. В такой конфигурации плотность энергии порога генерации составила $J_t=11.59$ мДж/см² при диаметре пучка $\omega_0=1$ мм, это почти в три раза меньше чем описывается в работе [8] при схожих параметрах пучка и длительности импульса лазера накачки. Минимальная энергия накачки, при которой наблюдалась генерация составила $E_t=91$ мкДж.

Параметры резонатора ПГС с различными зеркалами представлены в таблице (Табл. I.)

ТАБЛИЦА I
ПАРАМЕТРЫ РЕЗОНАТОРА ПГС
С РАЗЛИЧНЫМИ ЗЕРКАЛАМИ

Зеркало M4 резонатора ПГС	J_t мДж/см ²	E_t мкДж
Плоское(Layertech)	13	103
сферическое ZnS (Laseroptics) , R=2000 мм	18,72	147
Плоское ZnSe (Laseroptics)	11,59	91

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из таблицы (Табл. I) видно, что минимальная энергия накачки, при которой наблюдалась генерация, была 91 мкДж при использовании ZnSe зеркала фирмы Laseroptics. Плотность энергии порога генерации составила 11.59 мДж/см².

Получена генерация на кристалле тиагаллата серебра в области 3.5 мкм. В настоящее время проводятся эксперименты по исследованию перестраиваемых характеристик на разных кристаллах AGSe различной ориентацией.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создан источник когерентного инфракрасного излучения на базе параметрического генератора света (AGS) с двухпроходной накачкой наносекундным Nd:YLF лазером в области 1.053 мкм. Плотность энергии порога генерации составила $J_t=11.59$ мДж/см² при диаметре пучка $\omega_0=1$ мм.

Разработка когерентного широкоперестраиваемого ПГС в ИК-области спектра позволит создать на его базе диагностическое оборудование для применения в медицинской диагностике различных заболеваний по выдыхаемому пациентом воздуху.

Работы проводятся в рамках государственного контракта ФЦП 16.522.11.2001

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] [Степанов Е.В. Методы высокочувствительного газового анализа молекул – биомаркеров в исследованиях выдыхаемого воздуха // ТРУДЫ ИНСТИТУТА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ им. А.М. ПРОХОРОВА Том 61 (2005)
- [2] Физиология человека / Под ред. Р. Шмидта, Г. Тевса. В 3-х томах. М.: Мир, 1996.
- [3] Скрупский В.А. Эндogenous летучие соединения — биологические маркеры в физиологии и патологии человека и методы их определения // Научно-технический отчет. Институт океанологии РАН. 1994. 75 с.
- [4] Карапузиков А.И., Шерстов И.В., Агеев Б.Г. и др. // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 5. С. 453.
- [5] J.A. Giordmaine, R.C. Miller: Tunable coherent parametric oscillation in LiNbO3 at optical frequencies, Phys. Rev. Lett. 14, 973–976 (1965)
- [6] [Fan, Y. X., Eckardt, R. C., and Byer, R. L., “AgGaS2 infrared parametric oscillator,” Appl. Phys. Lett. 45, 313-315 (1984).
- [7] Phua, P. B., Wu, R. F., Chong, T. C., and Xu, B. X., “Nanosecond AgGaS2 optical parametric oscillator with more than 4 micron output,” Jpn. J. Appl. Phys. 36, L1661-L1664 (1997).
- [8] [Vodopyanov, K. L., Maffetone, J. P., Zwieback, I., and Rudermann, W., “AgGaS2 optical parametric oscillator continuously tunable from 3.9 to 11.3 μm ,” Appl. Phys. Lett. 75, 1204-1206 (1999).
- [9] Wang, T.-J., Kang, Z.-H., Zhang, H.-Z., He, Q.-Y., Qu, Y., Feng, Z.-S., Jiang, Y., Gao, J.-Y., Andreev, Y. M., and Lanski, G. V., “Wide-tunable, high energy AgGaS2 optical parametric oscillator,” Opt. Express 14, 13001-13006 (2006).

Авторы

Н. Ю. Духовникова

Д.Б. Колкер

М.К. Стариков

А.А. Бойко

А. С. Осокин

Короткая биография

В июне 2011 года окончила Новосибирский государственный технический университет по направлению «Техническая физика». В настоящее время магистрант НГТУ первого года обучения по направлению «Лазерные системы в науке и технике».

Окончил Новосибирский Государственный Технический университет в 1995 году, защитил кандидатскую и докторскую диссертации (д.ф.-м.н.) в 2001 и 2011 г., соответственно. Работал в ИЛФ СО РАН, BNM-SYRTE, LNE-CNAM, MIT-RLE, MBI. В настоящее время является профессором кафедры Лазерных систем НГТУ.

В феврале 2009 года окончила Новосибирский государственный технический университет по специальности «Лазерные системы в ракетной технике и космонавтике». Участник международной летней школы 2009 года «Lasers and nonlinear optics».

В настоящее время аспирант НГТУ третьего года обучения в области нелинейной оптики и спектроскопии.

В июне 2011 года окончил Новосибирский государственный технический университет по специальности «Лазерные системы в науке и технике». В настоящее время аспирант НГТУ первого года обучения в области нелинейной оптики и спектроскопии.

Студент третьего курса Новосибирского государственного университета физического факультета.