

# Оптический параметрический генератор среднего ИК диапазона на кристалле $\text{HgGa}_2\text{S}_4$ с накачкой импульсно-периодическим Nd:YAG-лазером

В.В.Бадиков, А.К.Дон, К.В.Митин, А.М.Серегин,  
В.В.Синайский, Н.И.Щебетова, Т.А.Щетинкина

*Создан эффективный параметрический генератор на кристалле  $\text{HgGa}_2\text{S}_4$  с накачкой излучением Nd:YAG-лазера с модуляцией добротности и диапазоном плавной перестройки по длине волны 3.7–5.7 мкм. Средняя мощность излучения при  $\lambda = 4$  мкм составила 67 мВт при частоте следования импульсов 20 Гц. Эффективность преобразования по энергии достигла 4.9 %.*

**Ключевые слова:** оптический параметрический генератор, титогаллат ртути, Nd:YAG-лазер.

## 1. Введение

Для многих прикладных областей науки и техники требуются мощные перестраиваемые источники лазерного излучения среднего ИК диапазона (3–12 мкм), основой которых могут служить оптические параметрические генераторы (ОПГ). Используя в качестве источника накачки широко распространенные и технологичные лазеры на кристаллах, активированных ионами Nd, с  $\lambda \sim 1$  мкм, можно создавать ОПГ с перестройкой длины волны в ближнем и среднем ИК диапазонах. Если ОПГ видимого и ближнего ИК диапазонов давно и успешно используются, то параметрические преобразователи, работающие в среднем ИК диапазоне, до сих пор еще не вышли из исследовательских лабораторий. Во многом такое положение связано с тем, что диапазон прозрачности широко используемых в ОПГ кислородсодержащих кристаллов, обладающих высоким оптическим качеством, таких как КТР, КТА,  $\text{LiNbO}_3$  и др. [1–4], не позволяет получать генерацию с  $\lambda > 4$  мкм.

Некоторые зарубежные коммерческие фирмы и организации в настоящее время производят серийные ОПГ на этих кристаллах с накачкой излучением Nd-лазеров. Так, фирмой Orotek была представлена модель ОПГ с областью перестройки  $\sim 400$  нм в спектральном диапазоне 2.7–3.1 или 3.05–3.45 мкм и выходной энергией  $\sim 5$  мДж при частоте следования импульсов 10 Гц [5]. Другим типом нелинейно-оптических кристаллов, позволяющим создавать ОПГ с накачкой одномикронным излучением, являются халькогенидные кристаллы. К ним относятся титогаллат серебра ( $\text{AgGaS}_2$ ) [6, 7] и титогаллат ртути ( $\text{HgGa}_2\text{S}_4$ ) [8–12]. Причем по ряду свойств кристаллы  $\text{HgGa}_2\text{S}_4$  превосходят  $\text{AgGaS}_2$  [11] и представляются бо-

лее перспективными для разработки и создания ОПГ. Достаточно большое внимание уделяется подобным ОПГ, работающим при накачке фемтосекундными импульсами [13–15]. В настоящей работе проведено экспериментальное исследование ОПГ на кристалле титогаллата ртути с накачкой серийным импульсно-периодическим Nd:YAG-лазером.

## 2. Экспериментальная установка

В работе использовался кристалл  $\text{HgGa}_2\text{S}_4$  выращенный по методу Бриджмена – Стокбаргера в Лаборатории новейших технологий Кубанского государственного университета. Предоставленный образец имел размеры  $10.1 \times 13.8 \times 13.3$  мм и был вырезан под углом  $\theta = 52.7^\circ$  к оси кристалла, ориентированного под первый тип синхронизма. На рабочие грани кристалла ( $13.8 \times 13.3$  мм) было нанесено диэлектрическое покрытие с коэффициентом отражения менее 2 % для излучения накачки с  $\lambda = 1.064$  мкм и менее 0.5 % для излучения с  $\lambda = 1.2 - 1.4$  мкм (сигнальная волна).

Резонатор ОПГ образовывали два плоских дихроичных зеркала, на которые было нанесено диэлектрическое отражающее покрытие. Входное зеркало, изготовленное из стекла К8, имело коэффициент отражения  $\rho \approx 95$  % для  $\lambda = 1.20 - 1.45$  мкм. На переднюю поверхность входного зеркала было нанесено просветляющее покрытие с  $\rho < 10$  % для излучения накачки. Выходное зеркало, изготовленное из фтористого бария марки ФБИ, имело коэффициент отражения  $\rho \approx 85$  % для  $\lambda = 1.1 - 1.4$  мкм. Расстояние между зеркалами составляло 3 см. Таким образом, была реализована однорезонаторная схема. Резонансной являлась сигнальная волна, причем добротность резонатора для нее была максимальной. Холостая волна выводилась из резонатора с небольшими потерями (коэффициент пропускания выходного зеркала  $\sim 10$  %). Для обеспечения развязки с лазером накачки ОПГ был расположен от него на расстоянии  $\sim 3$  м. Кроме того, применение пространственной развязки позволило расположить генератор в дальней зоне пучка накачки, что оказалось более благоприятным с точки зрения стабильности генерации и эффективности преобразования. Пере-

**В.В.Бадиков.** Кубанский государственный университет, Лаборатория новейших технологий, Россия, 350058 Краснодар, ул. Ставропольская, 149; e-mail: ntlab@mail.kubsu.ru

**А.К.Дон, Н.И.Щебетова, К.В.Митин, Т.А.Щетинкина, А.М.Серегин.** ГНЦ РФ ГУП «НПО Астрофизика», Россия, 123424 Москва, Волоколамское ш., 95; e-mail: donalexei@mtu-net.ru

Поступила в редакцию 5 августа 2006 г., после доработки – 17 октября 2006 г.

стройка длины волны излучения ОПГ осуществлялась поворотом кристалла в плоскости синхронизма относительно пучка накачки.

В отличие от предыдущих работ [8, 9], в качестве источника накачки использовался серийный Nd:YAG-лазер модели Brio (с гауссовым профилем коэффициента отражения зеркал резонатора) фирмы Quantel. Лазер работал на длине волны 1.064 мкм в импульсно-периодическом режиме с частотой следования импульсов до 20 Гц. При этом энергия в импульсе составляла 100 мДж при стабильности  $\pm 2\%$ . Длительность импульса по уровню 0.5 составляла 4.5 нс, расходимость излучения не превышала 0.3 мрад. Чтобы предотвратить оптическое повреждение кристалла, в схему был введен двукратный телескоп, увеличивающий диаметр пучка накачки до 6 мм (по уровню  $1/e^2$ ).

Для измерения энергии импульсов накачки часть излучения отводилась при помощи оптического клина на измеритель энергии PE10BB-SH-V2 (Ophir). Энергия излучения на длине холостой волны измерялась при помощи аналогичного измерителя энергии, расположенного за выходным зеркалом ОПГ. Для выделения холостой волны между приемником и выходным зеркалом помещался фильтр, состоящий из пластин из фтористого кальция с диэлектрическим селективным покрытием и германиевой пластины. Длина волны на выходе ОПГ измерялась монохроматором Digikrom CM112 с пироэлектрическим приемником МГ-30.

При работе ОПГ в импульсно-периодическом режиме могут наблюдаться различные эффекты, обусловленные тепловыми воздействиями. Оценки изменения температуры на оси кристалла вследствие поглощения излучения накачки, основанные на решении стационарного уравнения теплопроводности, показали, что при увеличении средней мощности накачки до 2 Вт температура увеличивается на несколько десятых долей градуса ( $\sim 0.3^\circ\text{C}$ ). Это не вносит существенных изменений в процесс параметрической генерации, а следовательно, нет необходимости принимать специальные меры для термостабилизации кристалла.

### 3. Результаты эксперимента

Диапазон перестройки длины холостой волны составлял 3.69–5.69 мкм. При этом внешний угол поворота кристалла был равен  $20^\circ$ . Спектральная ширина диапазона перестройки определялась коэффициентом отражения зеркал и размерами кристалла. Например, в [8] диапазон перестройки на таком же кристалле составил 2.3–4.4 мкм. Таким образом, спектр генерации ОПГ удалось сдвинуть в более длинноволновую область, недоступную для ОПГ на кислородсодержащих кристаллах. Кроме того, в [8] исследовался ОПГ в режиме генерации одиночных импульсов. В настоящей работе исследования проводились в импульсно-периодическом режиме. На рис.1 представлена зависимость средней мощности ОПГ от длины волны. Максимальное значение было получено для длины волны 4.03 мкм при нормальном падении излучения накачки на кристалл.

На рис.2 представлена зависимость средней (за серию) энергии импульсов ОПГ от средней энергии импульсов накачки. Измерения проводились для выходного излучения ОПГ на длине волны 4.03 мкм при частоте следования импульсов 5 Гц. Пороговая энергия накачки

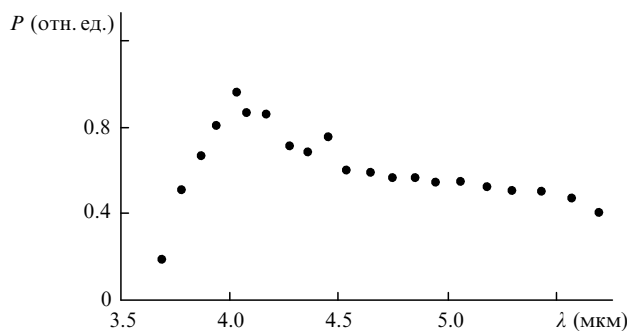


Рис.1. Зависимость средней мощности ОПГ (холостая волна) от длины волны.

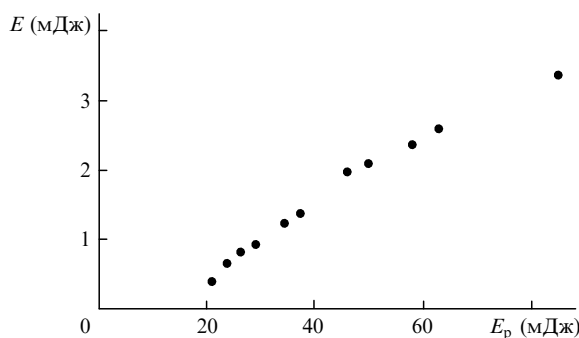


Рис.2. Зависимость средней энергии импульсов ОПГ (холостая волна) от средней за серию энергии импульсов накачки.

составляла  $\sim 10$  мДж, максимальная средняя за серию выходная энергия ОПГ достигала 3.3 мДж. Эффективность преобразования по энергии при этом была равна 4.9%. С увеличением частоты следования импульсов до 20 Гц энергия импульсов на выходе ОПГ практически не изменялась. Максимальная средняя мощность излучения ОПГ для холостой волны составила 67 мВт. За время работы ОПГ в таком режиме ( $\sim 1$  ч) лучевых повреждений кристалла не наблюдалось.

Изменения длины волны выходного излучения ОПГ при изменении частоты следования импульсов не наблюдалось. Это обстоятельство подтверждает тот факт, что влияние вызванных тепловыделением градиентов температуры в кристалле и связанной с ними температурной фазовой расстройкой незначительно.

При исследовании динамики генерации ОПГ для определения длительности импульса излучения было проведено измерение его формы. Измерения проводились при помощи пироэлектрического приемника БП-10 с временным разрешением  $10^{-10}$  с и осциллографа TDS-3054В. Перед приемником устанавливался фильтр, отсекающий излучение накачки и сигнальной волны. Одновременно измерялась форма импульса накачки на входе в ОПГ. Полученные осциллограммы представлены на рис.3. Длительность импульса излучения ОПГ на длине волны 4.03 мкм оказалась практически равной длительности импульса накачки и составила  $\sim 3$  нс по уровню 0.5. Задержка импульса генерации ОПГ относительно накачки была равна 1 нс.

Распределение интенсивности выходного излучения ОПГ по сечению пучка на длине волны 4.03 мкм регистрировалось ИК камерой Ругосат III. Полученные распределения для ближней и дальней зон представлены на рис.4. Согласно оценке, расходимость излучения равна  $\sim 10$  мрад.

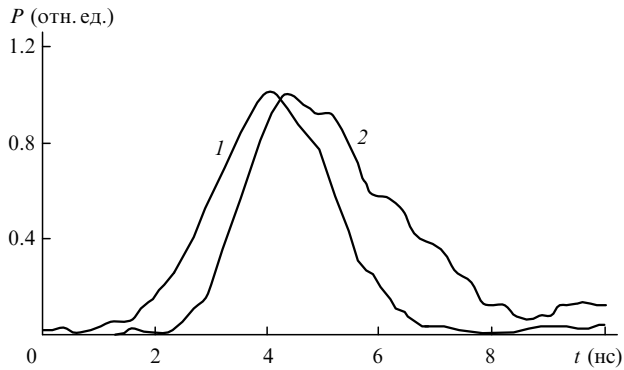


Рис.3. Форма импульса накачки (1) и импульса излучения ОПГ на частоте холостой волны (2).

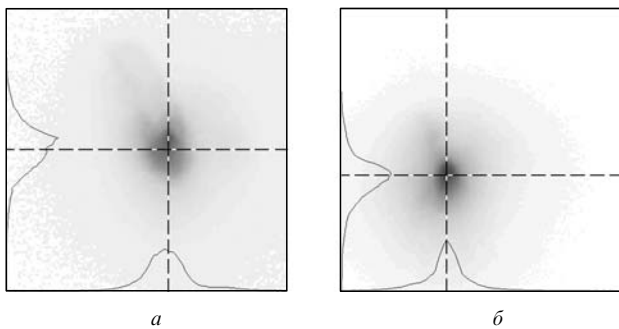


Рис.4. Распределение интенсивности излучения холостой волны на выходе ОПГ – в ближней зоне, на расстоянии 5 см от выходного окна

#### 4. Заключение

Создан ОПГ на кристалле тиогаллата ртути, накачиваемый излучением Nd:YAG-лазера с плавной перестройкой длины волны в диапазоне 3.69–5.69 мкм и максимальной выходной мощностью 67 мВт при частоте

следования импульсов 20 Гц. Благодаря своим характеристикам разработанный ОПГ может служить прототипом для создания серийных образцов параметрических преобразователей среднего ИК диапазона. При этом диапазон перестройки ОПГ определяется спектральными характеристиками зеркал и ориентацией нелинейно-оптического кристалла. Таким образом, аналогичные серийные ОПГ могут работать в диапазоне 2–9 мкм при ширине области плавной перестройки ~2 мкм и средней мощности до 100 мВт.

Работа проводилась в рамках проекта МНТЦ № 2334 при финансовой поддержке Европейской комиссии.

1. Vanherzeele H., Bierlrin J.D., Zumsteg F.C. *Appl. Opt.*, **27**, 3314 (1988).
2. Lin J.T., Montgomery J.L. *Opt. Commun.*, **75**, 315 (1990).
3. Bhar G C, Kumbhakar P., Chaudhary A.K., Chatterjee U. *PRAMANA J. Phys.*, **53**, 321 (1999).
4. Herbst R.L., Fleming R.N., Byer R.L. *Appl. Phys. Lett.*, **25**, 520 (1974).
5. www.opotek.com.
6. Fan Y.X., Eckardt R.C., Byer R.L. *Appl. Phys. Lett.*, **45**, 313 (1984).
7. Vodopyanov K.L., Maffetone J.P., Zwieback I., Ruderman W. *Appl. Phys. Lett.*, **75**, 1204 (1999).
8. Бадиков В.В., Дон А.К., Митин К.В., Серегин А.М., Синайский В.В., Щebetova Н.И. *Квантовая электроника*, **33**, 831 (2003).
9. Бадиков В.В., Кузьмин Н.В., Лаптев В.Б., Малиновский А.Л., Митин К.В., Назаров Г.С., Рябов Е.А., Серегин А.М., Щebetova Н.И. *Квантовая электроника*, **34**, 451 (2004).
10. Бадиков В.В., Дон А.К., Митин К.В., Серегин А.М., Синайский В.В., Щebetova Н.И. *Квантовая электроника*, **35**, 853 (2005).
11. Badikov V., Fintisova A., Panutin V., Sheina S., Scherbakov S., Shevyrdyaeva G., Don A., Mitin K., Schebetova N., Seryogin A., Sinaysky V., Kuzmin N., Laptev V., Malinovsky A., Ryabov E., Mangin J., Gadret G., Jules J.-C., Mennerat G., Pasquer C., de Miscault J.C. *Techn. Dig. Conf. on Lasers and Electro-Optics CLEO'04* (San Francisco, CA, 2004, paper CThT44).
12. Takaoka E., Kato K. *Techn. Dig. Conf. on Lasers and Electro-Optics CLEO'98* (San Francisco, CA, 1998, paper CWF39, p. 253).
13. Rotermund F., Petrov V. *Opt. Lett.*, **75**, 746 (2000).
14. Rotermund F., Petrov V. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40**, 3195 (2001).
15. Rotermund F., Petrov V. *Opt. Commun.*, **185**, 177 (2000).