

В.А. Городничев, В.И. Козинцев, А.Ф. Сильницкий

## ЛИДАР НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СВЕТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Приведены результаты экспериментальных исследований, направленных на повышение выходных характеристик параметрического генератора света (ПГС) на кристалле селенида кадмия с накачкой излучением лазера на иттрий-эрбий-алюминиевом гранате.

На основе ПГС разработан, изготовлен и испытан экспериментальный образец лидара дифференциального поглощения (ДП). Определена зависимость коэффициента вариации соотношения сигналов на выходе приемника и передатчика лидара от числа усредняемых измерений на трассе зондирования длиной 80 м. Проведена оценка доверительной границы случайной составляющей погрешности дистанционного определения концентрации загрязняющих атмосферу газов методом ДП.

Ряд токсичных газов [1] в окне прозрачности атмосферы 8—13 мкм имеют характерные полосы поглощения. Уже была подтверждена высокая чувствительность метода дифференциального поглощения в ИК-области спектра при использовании в лидарах перестраиваемых CO<sub>2</sub>-лазеров [2—4]. Однако ограниченная область перестройки длины волны этих лазеров не позволяет проводить газовый анализ веществ, имеющих наиболее интенсивные линии поглощения в области спектра 8—9 мкм. Цель настоящей работы заключалась в разработке лидара на основе параметрического генератора света (ПГС), перестраиваемого в области спектра, недоступной для молекулярных газовых лазеров.

Из существующих перестраиваемых ИК-лазеров диапазон длин волн от 8 до 13 мкм и далее может быть полностью перекрыт с помощью полупроводниковых лазеров. Но лазеры этого типа имеют небольшую выходную мощность, это затрудняет их применение в лидарах. ПГС по сравнению с другими ИК лазерами сочетают большой диапазон перестройки с высокой выходной мощностью и узкой линией генерации [5]. Продвижение в область длин волн более 3,7 мкм долго сдерживалось отсутствием высококачественных нелинейных кристаллов и надежных лазеров с длиной волны 2—3 мкм. Благодаря созданию лазера на иттрий-эрбий-алюминиевом гранате ( $\lambda = 2,94$  мкм) [6—8] и разработке новой технологии выращивания монокристаллов селенида кадмия из паровой фазы с применением сапфировых световодов стала реальной возможность создания ПГС с перестройкой в средней ИК-области спектра [9—11]. Отсутствие кросс-релаксационной деградации возбуждения у иттрий-эрбий-алюминиевого граната позволяет использовать в этих кристаллах концентрацию активатора до 100 вес. %. Малый коэффициент усиления ( $0,05 \text{ см}^{-1}$  при накачке 100 Дж) хотя и приводит к достаточно высокому порогу генерации ( $\sim 30$  Дж), но позволяет реализовать режим генерации в моноимпульсе с одной поперечной модой и энергией  $\sim 100$  мДж.

Резонатор лазера был оптимизирован для получения максимальной энергии в одномодовом режиме: длина резонатора составляла 750 мм, коэффициент отражения выходного зеркала был около 30% (двухзвенная сапфировая стопа), в качестве «глухого» было применено зеркало с медным покрытием. Для модуляции добротности использовался электрооптический затвор на кристалле ниобата лития. Длительность импульса генерации не превышала 100 нс. Водяное охлаждение не только активного элемента лазера и источника накачки (лампы ИФП 600-3), но и внешнего серебряного отражающего покрытия моноблока обеспечивало ресурс лазера при частоте 1 Гц, равный примерно  $5 \cdot 10^5$  импульсам.

В ПГС использовались кристаллы селенида кадмия длиной  $\sim 60$  мм, обладающие высокой однородностью и структурным совершенством. ПГС работал по однорезонаторной схеме с резонансом на короткой параметрической ветви. Резонатор ПГС был образован сферическим зеркалом радиусом  $\sim 1$  м, через которое осуществлялась накачка, и плоским выходным зеркалом. Длина резонатора ПГС составляла 70 мм. Лучевая стойкость диэлектрических покрытий зеркал была около 20 МВт/см<sup>2</sup>. Порог параметрической генерации не превышал 5 МВт/см<sup>2</sup>. Недостаточная лучевая стойкость покрытий зеркал ограничивала ресурс ПГС, который был равен не менее  $5 \cdot 10^3$  импульсам. Поворот зеркала вокруг оптической оси (ось зеркала была смещена относительно оси резонатора) позволял получать на ПГС до  $5 \cdot 10^4$  импульсов. Указанное неудобство не существенно, хотя и усложняло проведение экспериментальных исследований лидара на основе ПГС.

В приемнике лидара использовался объектив диаметром 250 мм с фокусным расстоянием 750 мм. Регистрация сигналов на выходе ПГС и приемника лидара осуществлялась фотоспротивлением ФГС-22-ЗА2.

Диапазон перестройки длины волны излучения с использованием одного кристалла ограничен. Это связано с увеличением апертурных и френелевских потерь при больших углах поворота кристалла относительно оптической оси резонатора ПГС. Нами были проведены исследования, направленные на определение оптимальных углов ориентации оптической оси шестого порядка по отношению к про-

дольной оси кристалла ( $\Theta_0$ ). Минимальным числом кристаллов был перекрыт диапазон перестройки, равный 8–13 мкм. Результаты этих исследований (рис. 1) показали, что применение четырех кристаллов с углами  $\Theta_0$ , равными 71, 77, 81 и 90°, позволяет полностью перекрыть требуемый диапазон при незначительных углах поворота кристаллов ( $\sim 10^\circ$ ). Мощность излучения равнялась 16 кВт при длительности импульса 60–70 нс. На рис. 1 приведены также экспериментальные и расчетные значения длин волн излучения ПГС в коротковолновой ветви 3,8–4,6 мкм, в которой достигнута мощность излучения ПГС – 23 кВт. Перестроенные кривые сняты с помощью монохроматора ИКМ-1.

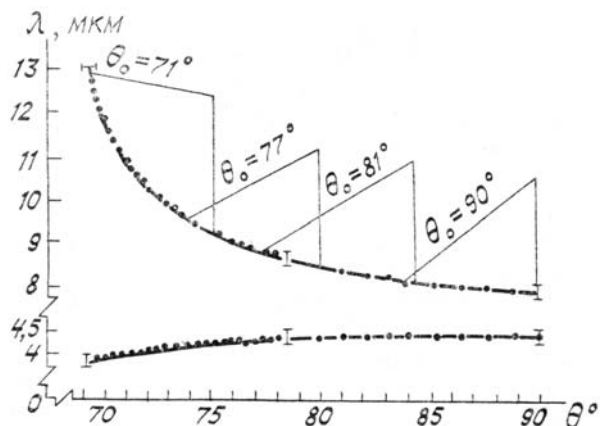


Рис. 1. Экспериментальные (точки) и теоретические (сплошные) перестроенные кривые ПГС ( $\theta$  – угол между волновыми вектором излучения накачки и оптической осью кристалла.  $\theta_0$  – ориентация кристалла)

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента вариации соотношения сигналов на выходе приемника и передатчика лидара от числа усредняемых измерений. В этих испытаниях приемником лидара регистрировались сигналы, отраженные от экрана из алюминиевого сплава АМЦ, который был установлен на расстоянии 80 м от лидара.

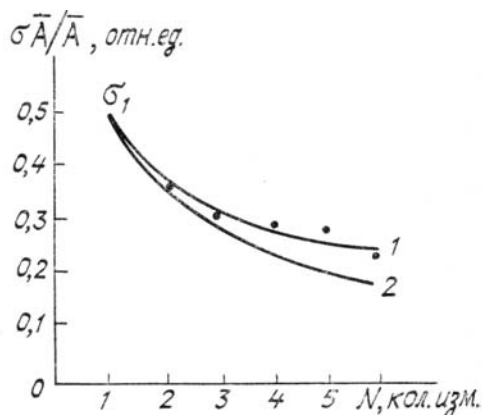


Рис. 2. Зависимость коэффициента вариации от числа усредняемых измерений (1 – экспериментальные значения, 2 – теоретические значения, равные  $\sigma_1/\sqrt{N}$ )

Полученные результаты позволяют оценить доверительную границу случайной составляющей погрешности ( $\epsilon$ ) дистанционного определения концентрации загрязняющих газов методом дифференциального поглощения. Например, для дихлорэтана разность коэффициентов поглощения на длинах волн 8,1 и 8,5 мкм составляет  $3 \text{ см}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$ ,  $\epsilon$  при усреднении 6 измерений на каждой длине волны и доверительной вероятности 0,95 будет не более  $1,9 \cdot 10^{-5} \cdot \text{атм}^{-1}$  для длины трассы зондирования 80 м.

Таким образом, созданный лидар по сравнению с лидаром на основе  $\text{CO}_2$ -лазера позволяет расширить количество дистанционно определяемых загрязнений атмосферы и проводить анализ в воздухе ацетона,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_2$  и других веществ, имеющих интенсивные линии поглощения в области спектра 8–13 мкм.

1. Pierson R. H., Fletcher A. N., Clair Gantz E. St. // Anal. Chem. 1956. V. 28. P. 1218–1239.
2. Самохвалов И. В., Соснин А. В., Хмельницкий Г. С. // В кн.: Труды Всес. симпозиума «Радиофизические исследования атмосферы». Л.: Гидрометеиздат. 1977. С. 78–82.

3. Marthinson B., Johanson J., Eng S.T. //Optical and QE. 1980. № 12. P. 327–334.
4. Killinger D.K., Menyuk N. //IEEE. 1981. V. 17. № 9. P. 1917–1929.
5. Фишер Р., Кулевский Л.А. //Квантовая электроника. 1977. Т. 4. № 2. С. 245–289.
6. Жариков Е.В., Жеков В.И., Кулевский Л.А. и др. //Квантовая электроника. 1974. Т. 1. № 8. С. 1867–1869.
7. Багдасаров Х.С., Данилов В.П., Жеков В.И. и др. //Квантовая электроника. 1978. Т. 5. № 1. С. 150–152.
8. Багдасаров Х.С., Жеков В.И., Лобачев В.А. и др. //Изв. АН СССР. Физика. 1982. Т. 46. № 18. С. 1496–1503.
9. Давыдов А.А., Кулевский Л.А., Прохоров А.М. и др. //Письма в ЖЭТФ. 1972. Т. 15. С. 725–727.
10. Кулевский Л.А. //УФН. 1981. Т. 134. Вып. 3. С. 535–541.
11. Городничев В.А., Давыдов А.А., Жильцов В.И. и др. //Электронная техника. Сер. 11. Лазерная техника и оптоэлектроника. 1984. Вып. 3 (29). С. 93–96.

Поступила в редакцию  
4 августа 1988 г.

V.A. Gorodnichev, V.I. Kozintsev, A.F. Silnitsky. **Parametric Light Generator DIAL System for Monitoring Atmospheric Pollution.**

A  $Y_3Al_5O_{12}:E_r^{3+}$  -laser – pumped CdSe parametric light generator with improved output characteristics was developed.

Its output power was –16 and 23 kW in the 8–13 and 3.8–4.6  $\mu\text{m}$  range, respectively. Four CdSe crystals with different orientations provided a continuous wavelength tuning from 8 to 13  $\mu\text{m}$ . The parametric light generator was employed in the design of a prototype DIAL system intended for a remote gas analysis of atmospheric pollutants along a 80 m path. The results obtained from testing the DIAL system are reported.