

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ СО-ЛАЗЕРА В НЕЛИНЕЙНОМ КРИСТАЛЛЕ $ZnGeP_2$

Ю. М. Андреев*, А. А. Ионин, И. О. Киняевский, Ю. М. Климачѳв,
А. Ю. Козлов, А. А. Котков, Г. В. Ланский*

Представлены экспериментальные результаты исследования удвоения частоты СО-лазера в нелинейных кристаллах высокого оптического качества $ZnGeP_2$ и $GaSe$. В экспериментах использовались многочастотный СО-лазер низкого давления с модуляцией добротности резонатора и селективный импульсный электроионизационный СО-лазер, работающий с криогенным охлаждением в режиме синхронизации мод. Максимальный внешний коэффициент преобразования излучения во вторую гармонику непрерывного СО-лазера в режиме модуляции добротности составил 1%, импульсного СО-лазера в режиме синхронизации мод – 3.5%. Проведенные теоретические расчеты показали возможность получения дальнего ИК и терагерцового излучения с помощью генерации разностных частот линий СО-лазера в этих кристаллах.

Ключевые слова: СО-лазер, удвоение частоты, генерация разностных частот.

Расширение спектра генерации газовых лазеров ИК-диапазона является актуальной задачей для таких приложений, как лазерная спектроскопия, зондирование атмосферы, диагностика лазерных сред, инициирование химических реакций и разделение изотопов. При этом параметрическое преобразование частоты мощных и хорошо отработанных в техническом плане лазеров на окиси углерода (область генерации 4.6–8.2 мкм [1]), как способ расширения спектра излучения, представляет особый интерес. В этом случае, по совокупности физических свойств, наиболее подходящим материалом для параметрического преобразования является самый эффективный нелинейный кри-

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский пр-т, д. 53;
e-mail: umk@sci.lebedev.ru

* Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, г. Томск, Академический пр-т, 10/3; e-mail: yuandreev@imces.ru

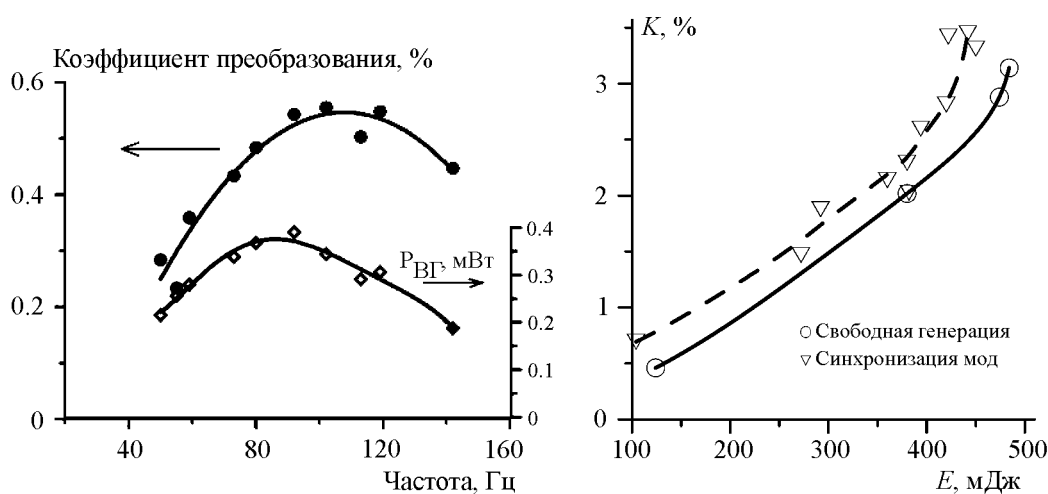


Рис. 1: Зависимости средней мощности ВГ и коэффициента преобразования от частоты модуляции.

Рис. 2: Зависимости коэффициента преобразования излучения СО-лазера во ВГ в нелинейном кристалле $ZnGeP_2$ от энергии импульса накачки при синхронизации мод и свободной генерации. Переход 8-7P (12) (1914 см^{-1}).

сталл среднего ИК-диапазона – кристалл $ZnGeP_2$ [2].

В данной работе представлены результаты по преобразованию частоты излучения импульсно-периодического СО-лазера с модуляцией добротности резонатора и импульсного электроионизационного (ЭИ) СО-лазера с синхронизацией мод в непросветленном кристалле $ZnGeP_2$ длиной 12 мм. При накачке неселективным излучением, состоящим из 80 линий излучения в диапазоне 4.96–6.3 мкм, в спектре преобразованного по частоте излучения зафиксировано более 110 линий излучения в диапазоне 2.53–2.85 мкм. Обогащение спектра происходит за счет одновременной генерации второй гармоники (ВГ) и суммарных частот, с максимумом интенсивности в районе 2.6 мкм. На рис. 1 представлены зависимости коэффициента преобразования и средней мощности преобразованного по частоте излучения от частоты модуляции. При оптимизированной фокусировке излучения накачки общий внешний коэффициент преобразования достиг 1%. Отметим, что близкие результаты реализованы и при преобразовании частоты в кристалле GaSe длиной 5 мм в тех же условиях эксперимента.

Исследованы также характеристики преобразованного по частоте излучения селективного импульсного СО-лазера, работающего как в режиме свободной генерации, так

и в режиме активной синхронизации мод [3]. На рис. 2 представлены зависимости коэффициентов преобразования по энергии от энергии импульсов накачки. Максимальное значение внешнего коэффициента преобразования 3.5% получено при работе лазера в режиме синхронизации мод. При этом внутреннюю эффективность преобразования частоты в кристалле ZnGeP_2 , с учетом френелевских потерь на отражение от непрозрачных поверхностей кристалла и других оптических элементов, можно оценить как близкую к 7%. Такая эффективность преобразования излучения уже приемлема для практического применения.

Из рисунка 2 видно, что коэффициент преобразования излучения СО-лазера в режиме синхронизации мод больше, чем в режиме свободной генерации, вследствие более высокой пиковой интенсивности накачки. Дальнейшее повышение эффективности преобразования частоты излучения СО-лазера возможно за счет просветления кристаллов и оптических элементов, а также за счет формирования оптимальных параметров пучков накачки и создания более коротких импульсов излучения для увеличения интенсивности накачки. Из оценок углов фазового синхронизма для генерации разностных частот линий генерации основной полосы и обертонового излучения СО-лазера в ZnGeP_2 следует, что они лежат в диапазоне от $\sim 20^\circ$ до $\sim 80^\circ$ и дают возможность генерации терагерцового излучения на длинах волн в пределах 200–1200 мкм. В дальнейшем представляет интерес использование кристаллов GaSe с модифицированными путем легирования серой, индием и теллуром физическими свойствами, как дополнительный способ увеличения эффективности преобразования частоты.

Авторы благодарят ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 годы за частичную финансовую поддержку в рамках гос. контракта N 02.740.11.0444.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] А. А. Ионин, В: *Энциклопедия низкотемпературной плазмы*, сер. Б, Т 11-4, под ред. Яковленко С.И. (М., Физматлит, 2005), стр. 740.
- [2] Ю. М. Андреев, С. Н. Бовдей, П. П. Гейко, и др., *Оптика атмосферы* 1(4), 124 (1988).
- [3] А. А. Ionin, Y. M. Klimachev, A. A. Kotkov, et al., *Optics Communications* 282, 294 (2009).

По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара “Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики”, Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.

Поступила в редакцию 6 ноября 2009 г.