

Высокоэффективный параметрический преобразователь на кристаллах КТР

В.Л.Наумов **, А.М.Онищенко **, А.С.Подставкин *, А.В.Шестаков **

Создан высокоэффективный внерезонаторный параметрический генератор на кристаллах КТР для преобразования излучения лазеров на кристаллах ИАГ:Nd³⁺ с $\lambda = 1.064$ мкм в излучение с $\lambda = 1.573$ мкм и исследованы его генерационные характеристики. Получен дифференциальный КПД преобразования 56.5% при пороговой плотности энергии 0.06 Дж/см². В широком диапазоне энергий накачки расходимость параметрического излучения не превышает четырех дифракционных пределов. Продемонстрирована возможность стабильной работы при более чем 30-кратном превышении энергии накачки над пороговой.

Ключевые слова: кристалл КТР, параметрическая генерация, параметрический преобразователь, нелинейная оптика.

В последнее время активно ведутся работы по получению лазерного излучения в безопасном для человеческого глаза диапазоне длин волн, в частности в области 1.5 мкм. Этот диапазон, кроме того, удобен для приборостроения из-за развитой техники фотоприема в указанной спектральной области. Непосредственную генерацию в этом диапазоне обычно получают, используя кристаллы или стекла, активированные ионами Er³⁺. Однако КПД таких лазеров, как правило, заметно ниже, чем КПД лазеров на кристаллах и стеклах с ионами Nd³⁺.

Другой возможностью получения когерентного излучения в данном диапазоне является применение параметрических генераторов света (ПГС) [1]. Используя в качестве накачки для параметрических преобразователей излучение широко распространенных лазеров на кристаллах с ионами Nd³⁺ ($\lambda = 1.06$ мкм), можно создать ПГС с длиной волны излучения в области 1.5 мкм. Успехи в технологии выращивания нелинейных кристаллов в настоящее время позволяют получать нелинейные кристаллы типа LiNbO₃, KTiOPO₄ (КТР), KTiOAsO₄ (КТА), RbTiOPO₄ (RTP), β -BaV₂O₄ (ВВО) и др. высокого оптического качества, используемые при создании ПГС.

В настоящей работе мы исследовали возможность создания эффективного внерезонаторного ПГС на кристаллах КТР с накачкой лазером на ИАГ:Nd³⁺ ($\lambda = 1.064$ мкм) для оценки целесообразности использования такого подхода при решении задач создания твердотельных экологически безопасных лазеров. Выбор кристаллов КТР определялся высокими нелинейными коэффициентами и высокой стойкостью к лазерному излучению, свойственными КТР и, кроме того, возможностью работы в условиях некритичного синхронизма при параметрическом преобразовании излучения лазеров на кристаллах с ионами Nd³⁺ [2].

Исследования простейших линейных схем ПГС [3] показали, что при удовлетворительных энергетических показателях расходимость таких генераторов довольно велика и сильно увеличивается с ростом энергии накачки. В связи с этим в тех случаях, когда существенна малая расходимость, необходимо использовать излучение накачки, которое обеспечивает небольшое превышение над порогом генерации, что ограничивает КПД параметрического генератора.

Целью данной работы являлось создание высокоэффективного ПГС на кристаллах КТР, обладающего малой расходимостью при больших превышениях энергии накачки над пороговой, низким порогом генерации и высокой эффективностью преобразования. Кристаллы КТР, выбранные нами для работы, имели размеры 4 × 4 × 20 мм по осям y, z, x соответственно, излучение накачки и генерации распространялось в них вдоль оси x, а поляризация излучения накачки и сигнальной волны была перпендикулярна оси z. При такой ориентации параметрическое преобразование излучения накачки с $\lambda = 1.064$ мкм в излучение с $\lambda = 1.573$ и 3.288 мкм для сигнальной и холостой волн соответственно происходит в условиях некритичного синхронизма [2].

Нами была выбрана трехзеркальная схема кольцевого резонатора, показанная на рис.1. Этот резонатор имеет ряд преимуществ перед линейными, т. к. позволяет

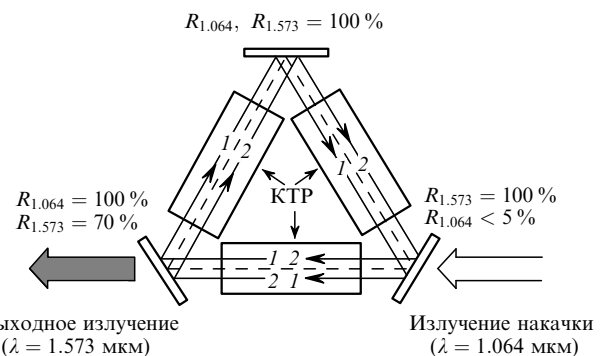


Рис.1. Оптическая схема трехзеркального кольцевого ПГС. Штриховая линия – оптическая ось пучка генерации.

*ООО «Научно-производственный центр "ЭЛС-94"», Россия, 117342 Москва, ул. Введенского, 3; эл.почта: avshest@ipolus.msk.su

**Федеральное государственное унитарное предприятие НИИ «Полус» им. М.Ф.Сельмаха, Россия, 117342 Москва, ул. Введенского, 3; эл.почта: avshest@ipolus.msk.su

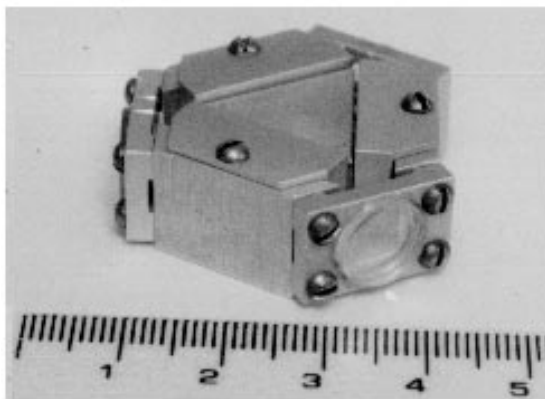


Рис.2. Внешний вид ПГС.

реализовать параметрическую генерацию только бегущей волны. В таком резонаторе нет стоячих волн, и интенсивность излучения в нем существенно более однородна по сравнению с линейными резонаторами. Это особенно важно из-за большого коэффициента поглощения в кристаллах КТР (порядка 1 см^{-1} [4]) в области холостой волны. Трехзеркальный вариант был выбран из-за простоты юстировки, которая необходима только в плоскости, перпендикулярной плоскости резонатора. Кроме того, в трехзеркальном резонаторе после каждого обхода внешние лучи (1, 2) пучка генерации переходят во внутренние и наоборот (рис.1). Это заметно компенсирует неоднородность поперечной структуры поля генерации и существенно ослабляет влияние оптических неоднородностей и качества пучка накачки на поперечную структуру поля генерации.

Внешний вид и размеры параметрического излучателя представлены на рис.2. При измерении генерационных характеристик ПГС для накачки использовались одно- и многомодовые лазеры на ИАГ:Nd, работающие в режиме модуляции добротности. Выходное зеркало ПГС имело коэффициент отражения $\sim 70\%$ на $\lambda = 1.57 \text{ мкм}$.

Зависимость выходной энергии излучения от энергии накачки при использовании в качестве накачки излучения многомодового лазера представлена на рис.3,а. Диаметр пучка накачки (по уровню энергии 0.86) составлял 1.6 мм, частота следования импульсов – 5 Гц, длительность импульса накачки – 10 нс. Полученный дифференциальный КПД преобразования равнялся 46%, порог генерации – 2.5 мДж (0.12 Дж/см^2). Расходимость параметрического излучения (по уровню энергии 0.86) во всем диапазоне накачек не превышала 3.5 мрад, что составляет не более четырех дифракционных пределов. Длительность импульса параметрической генерации не превышала 10 нс.

Энергетическая зависимость при накачке одномодовым лазером представлена на рис.3,б. Диаметр пучка накачки (по уровню энергии 0.86) составлял 2 мм, частота следования импульсов – 12.5 Гц, длительность импульса – 8 нс, длительность импульса параметрической генерации – 8 нс. Полученный дифференциальный КПД преобразования равнялся 56.5%, порог генерации – 2 мДж (0.06 Дж/см^2). Расходимость параметрического излучения во всем диапазоне накачек не превышала 4 мрад, т. е. также не превышала четырех дифракционных пределов. Таким образом, низкий порог, высокая эффективность и малая расходимость делают привлекательным использование такой схемы ПГС в малогабаритных приборах, когда энергия накачки ограничена.

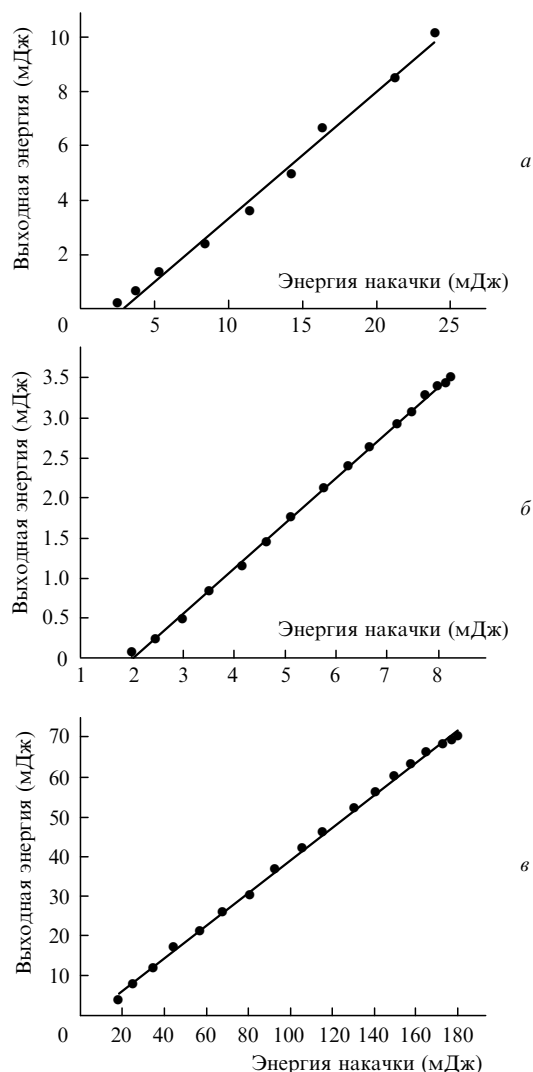


Рис.3. Зависимости выходной энергии импульса параметрического излучения с $\lambda = 1.573 \text{ мкм}$ от энергии импульса накачки при накачке излучением многомодового лазера (а), одномодового лазера (б) и многомодового лазера с повышенной энергией импульса (в).

Нами также была изучена возможность работы данного параметрического преобразователя при накачке излучением лазера с повышенной энергией. Для этих целей в качестве накачки мы использовали излучение многомодового лазера с максимальной энергией 180 мДж при длительности импульса 15 нс и частоте следования импульсов 2.5 Гц. Диаметр пучка накачки на входе ПГС составлял 3 мм (по уровню энергии 0.86). Зависимость выходной энергии ПГС от энергии накачки в этом случае представлена на рис.3,в.

При максимальной накачке ПГС демонстрировал стабильную генерацию с энергией импульса 70 мДж. Порог генерации составил $5 \pm 1 \text{ мДж}$, т. е. данный ПГС стабильно работает при энергиях накачки, более чем в 30 раз превышающих пороговую. Длительность импульса параметрической генерации равнялась 15 нс. Расходимость при максимальной энергии накачке была менее 7 мрад, что составляет десять дифракционных пределов. Увеличение частоты следования импульсов и выходной энергии ПГС ограничено большим поглощением холостой волны в кристаллах КТР. В данной конструкции это требует использования нелинейных элементов с большей апертурой.

Таким образом, создан ПГС, который обеспечивает низкую расходимость излучения при высоких энергетических характеристиках. Параметры преобразователя и его габариты делают привлекательным его использование в приборах, в том числе малогабаритных.

1. Ахманов С.А., Хохлов Р.В. *УФН*, **88**, 439 (1966).
2. Bierlein J.D. *Proc. SPIE*, **1104**, 2 (1989).
3. Smith A.V., Alford W.J., Raymond T.D., Bowers M.S. *J.Opt.Soc. Amer. B*, **12**, 2253 (1995).
4. Jacco J.C., Loiacono G.M. *Appl.Phys.Letts*, **58**, 560 (1991).

V.L.Naumov, A.M.Onishchenko, A.S.Podstavkin, A.V.Shestakov. High-efficiency parametric converter based on KTP crystals.

A high-efficiency extracavity parametric oscillator based on KTP crystals for converting radiation of Nd³⁺:YAG lasers with $\lambda = 1.064 \mu\text{m}$ to radiation with $\lambda = 1.573 \mu\text{m}$ was made and its oscillation characteristics were studied. A differential efficiency of 56.5% and a threshold energy density of 0.06 J cm^{-2} were obtained. In a wide range of pump energies, the angular divergence of parametric emission did not exceed four diffraction limits. The feasibility of stable operation for a more than 30-fold excess of pump energy over the threshold value was obtained.