

Ю.М. Андреев, П.П. Гейко, А.И. Грибенюков, В.В. Зуев, С.В. Изюмов, М.И. Тойко

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ГАЗОАНАЛИЗА АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОГО КРИСТАЛЛА Tl_3AsSe_3 .

Предлагается перспективный источник инфракрасного когерентного излучения, основанный на преобразовании частоты излучения распространенных лазеров в нелинейном кристалле Tl_3AsSe_3 . Источник способен перекрыть диапазон от 2 до 17 мкм, работает при комнатной температуре. Экспериментально исследован генератор второй гармоники излучения CO_2 -лазеров. При угле синхронизма 18° угловая ширина синхронизма составила $1,8^\circ$, а температурная -6° . Эффективность удвоения достигла 2%; возможно ее дальнейшее увеличение. Порог пробоя для излучения ТЕА CO_2 лазера около 20 МВт/см^2 .

Для получения полной информации о концентрациях малых газовых составляющих атмосферы методом дифференциального поглощения требуются эффективные источники когерентного излучения ближней и средней ИК области спектра, где имеются изолированные линии поглощения большинства атмосферных газов. Перспективным способом освоения этой спектральной области является создание беспороговых параметрических преобразователей частоты излучения распространенных ИК лазеров, в первую очередь CO_2 -лазеров, которые обладают регулярным и стабильным спектром излучения. Исследования преобразователей частот излучения CO_2 -, CO - и NH_3 -лазеров в монокристаллах $ZnGeP_2$ и $CdGeAs_2$ показали их высокие эксплуатационные характеристики [1–8], способствующие, в частности, применению удвоителей частоты излучения перестраиваемого CO_2 -лазера в натуральных экспериментах по определению концентрации CO [9–10], NO [11] и CO_2 [12].

В рассматриваемой области спектра эти нелинейные кристаллы являются самыми эффективными преобразователями частоты лазерного излучения. Однако они имеют и некоторые недостатки. Для $CdGeAs_2$ — это криогенный режим работы и проблемы выращивания монокристаллов приемлемого оптического качества. Монокристаллы $ZnGeP_2$ необходимо нагревать до температуры свыше $100^\circ C$ для эффективного удвоения частоты излучения с длинами волн $\lambda \geq 10,3 \text{ мкм}$. Кроме того, эффективность реальных преобразователей частоты из кристаллов $CdGeAs_2$ и $ZnGeP_2$ существенно снижается из-за наличия заметного поглощения, характеризующегося коэффициентом поглощения $\alpha = 0,5 \dots 0,8 \text{ см}^{-1}$ для излучения с $\lambda < 5,5 \text{ мкм}$ у первого и с $\lambda \geq 8,5 \text{ мкм}$ у второго. Это приводит к ограничению максимальной длины используемых кристаллов. На рис. 1, а приведен спектр прозрачности вышеупомянутых кристаллов и кристалла Tl_3AsSe_3 для образцов одинаковой 5 мм толщины. Видно, что область прозрачности Tl_3AsSe_3 , простирающаяся от 1,27 до 17,5 мкм, перекрывает области прозрачности и $ZnGeP_2$ и $CdGeAs_2$.

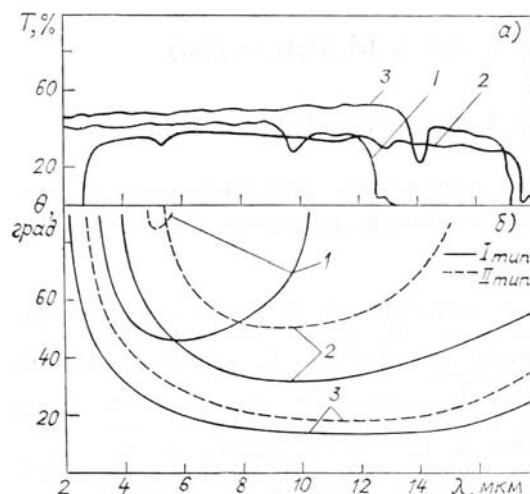


Рис. 1. Спектр прозрачности монокристаллов $ZnGeP_2$ (1), $CdGeAs_2$ (2), Tl_3AsSe_3 (3) толщиной 5 мм — (а). Кривые синхронизма для генерации второй гармоники по I и II типам взаимодействий в $ZnGeP_2$ (1), $CdGeAs_2$ (2), Tl_3AsSe_3 (3) — (б)

Предлагаемый одноосный отрицательный кристалл Tl_3AsSe_3 , относящийся к кристаллам точечной группы симметрии $3m$, наряду с широкой спектральной областью прозрачности обладает целым рядом достоинств. Во-первых, кристалл Tl_3AsSe_3 обладает большим двулучепреломлением $B = 0,18$ [13].

Это обеспечивает выполнение условий фазового синхронизма для различных параметрических трехчастотных взаимодействий практически во всем диапазоне прозрачности. Рис. 1,б иллюстрирует возможности генерации второй гармоники. Видно, что спектральный интервал, в котором выполняются условия синхронизма для исследуемого кристалла, существенно больше, чем у ZnGeP_2 и CdGeAs_2 , и фактически простирается от 2,2 до 17 мкм. Во-вторых, кристалл Tl_3AsSe_3 по величине коэффициента нелинейной восприимчивости, квадрату которого пропорциональна эффективность, параметрического преобразования частоты, в несколько раз превышает соответствующие значения для таких новых перспективных кристаллов, как CdSe , прустит, пираргирит, и лишь незначительно уступает ZnGeP_2 .

В-третьих, как показали эксперименты, выращивание монокристаллов Tl_3AsSe_3 методом Бриджмена длиной 30–40 мм не является столь трудной задачей, как CdGeAs_2 . Использование кристаллов Tl_3AsSe_3 большей длины, чем CdGeAs_2 и ZnGeP_2 (последние имеют заметные потери в области длин волн излучения CO_2 -лазера), обеспечивает выигрыш в эффективности преобразования частоты, пропорциональный квадрату длины. Таким образом, можно уравнивать эффективности преобразователей из Tl_3AsSe_3 , CdGeAs_2 и ZnGeP_2 . Наконец, важной особенностью преобразователей частоты излучения ИК лазеров на основе Tl_3AsSe_3 в отличие от ZnGeP_2 и CdGeAs_2 является возможность работы при комнатной температуре.

Для экспериментальных исследований возможностей замены удвоителей частоты излучения CO_2 -лазера из ZnGeP_2 и CdGeAs_2 , используемых в газоанализе, из Tl_3AsSe_3 был изготовлен нелинейный элемент длиной 4,64 мм. Элемент имел ориентацию $\Theta = 18^\circ$, $\varphi = 0^\circ$, входную апертуру более 1 см^2 , полировался механическим способом, не термостабилизировался. Коэффициент поглощения в области максимальной прозрачности не превышал $0,2 \text{ см}^{-1}$. Блок-схема удвоителя частоты представлена на рис. 2.

Маломощный ($\leq 1 \text{ Вт}$) перестраиваемый по частоте CO_2 -лазер работал в непрерывном и импульсно-периодическом режимах. В последнем случае длительность импульсов излучения составляла 0,1–10 мс, пиковая мощность излучения достигала 1 кВт. Эффективность удвоения такого излучения составляла $2,1 \cdot 10^{-2}\%$ при фокусировке излучения накачки в кристалл длиной 4,64 мм. Для излучения с длиной волны 10,6 мкм угол синхронизма составил 18° , а угловая ширина синхронизма – $1,8^\circ$, температурная ширина синхронизма равна 6° и почти на порядок меньше таковой для ZnGeP_2 . Прямое сравнение эффективностей генерации второй гармоники в монокристаллах Tl_3AsSe_3 и ZnGeP_2 одинакового оптического качества (коэффициент поглощения около $0,2 \text{ см}^{-1}$ в области максимальной прозрачности) и длины показало в 6 раз меньшую эффективность Tl_3AsSe_3 . Двухкратное отличие от ожидаемого результата объясняется большим двулучепреломлением Tl_3AsSe_3 , приводящим к снижению эффективности удвоения частоты из-за сноса малоапертурного пучка излучения, и в 2,5 раза меньшей лучевой стойкости. Наибольшая (2,3%) эффективность удвоения частоты излучения получена при накачке кристалла 150–170 не импульсами излучения ТЕА CO_2 -лазера. Лазер работал на обедненной азотом смеси, из-за чего низкоамплитудный «хвост» импульса содержал чуть более 15% полной энергии импульса. Площадь пятна излучения накачки равнялась 1 см^2 , что исключало влияние сноса на эффективность удвоения частоты. Устойчивый коэффициент преобразования 0,8% наблюдался при интенсивности накачки 20–22 МВт/см² и практически не зависел от длины волны излучения накачки.

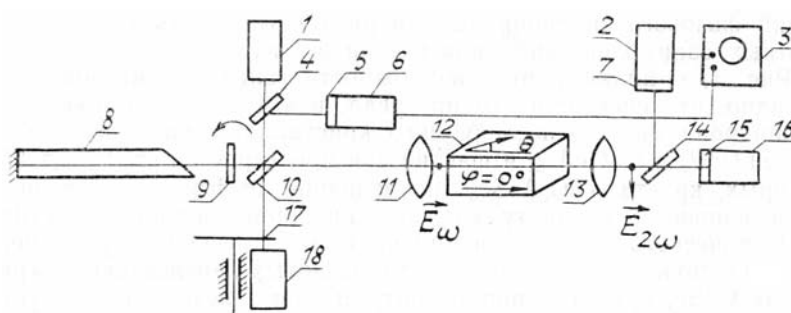


Рис. 2. Блок-схема удвоителя частоты с монокристаллом Tl_3AsSe_3 : 1 и 16 – измерители мощности; 2 и 6 – фоторезисторы Ge:Аu; 3 – осциллограф С9-8; 4, 10 и 14 – делительные пластинки; 5, 7 и 15 – фильтры; 8 – CO_2 -лазер; 9 – выходное зеркало, 11 – фокусирующая линза из BaF_2 ; 12 – монокристалл Tl_3AsSe_3 ; 13 – коллимирующая линза из LiF ; 17 – модулятор; 18 – трехчастотный лазер (He–Ne)

Анализ характеристик, в том числе эксплуатационных, удвоителя частоты из монокристалла Tl_3AsSe_3 показывает их практическую применимость в газоанализе атмосферы. При преобразовании частоты излучения мощных импульсных CO_2 -лазеров становится несущественным эффект сноса излучений из-за возможности работать с большим диаметром пучка. Аппроксимируя полученные результаты, можно сказать, что уменьшение потерь за счет просветления и достижимого улучшения оптического качества кристаллов ($\alpha \leq 0,004 \text{ см}^{-1}$) позволит в этом случае достигнуть 20% эффектив-

ности преобразования с высокой надежностью работы при использовании 40–50 мм кристаллов. К недостаткам монокристаллов Tl_3AsSe_3 следует отнести мягкость и слоистость, которые затрудняют их обработку и уменьшают стойкость к вибрациям.

1. Андреев Ю.М., Воеводин В.Г., Грибенюков А.И. и др. — Квантовая электроника, 1984, т. 11, № 8, с. 1511.
2. Андреев Ю.М., Ведерникова Т.В., Бетин А.А. и др. — Квантовая электроника, 1985, т. 12, № 7, с. 1535.
3. Menyuk N., Iseler G.W., Moogradian A. — Appl. Phys. Lett., 1976, v. 26, № 7, p. 422.
4. Al-Saidi I.A., Harrison R.G. — Appl. Phys., 1985, v. B36, № 1, p. 17.
5. Forysiak W., Mehendale S.C., Harrison R.G. — Appl. Optics, 1987, v. 26, № 1, p. 16.
6. Андреев Ю.М., Воеводин В.Г., Грибенюков А.И. и др. — Квантовая электроника, 1987, т. 14, № 6, с. 1131.
7. Андреев Ю.М., Воеводин В.Г., Гейко П.П. и др. — Квантовая электроника, 1987, т. 14, № 4, с. 784.
8. Андреев Ю.М., Белых А.Д., Воеводин В.Г. и др. — Квантовая электроника, 1987, т. 14, № 4, с. 782.
9. Андреев Ю.М., Воеводин В.Г., Грибенюков А.И. и др. — ЖПС, 1987, т. 47, № 1, с. 15.
10. Killinger D.K., Menyuk N., De Feo W.E. — Appl. Phys. Letts., 1980, v. 36, № 6, p. 402.
11. Menyuk N., Killinger D.K., De Feo W.E. — Appl. Optics, 1980, v. 19, № 9, d. 3282.
12. Buffon J.L., Itabe T., Strow L.L. et al — Appl. Optics, 1983, v. 22, № 17, p. 2592.
13. Feichtner J.D., Roland G.W. — Appl. Optics, 1972, v. 11, № 5, p. 993.

Институт оптики атмосферы
СО АН СССР, г. Томск
Институт атомной энергии
им. И. В. Курчатова, г. Москва
СКВ научного приборостроения
«Оптика» СО АН СССР, г. Томск

Поступило в редакцию
29 сентября 1987 г.

Yu.M. Andreev, P.P. Geiko, A.I. Gribenyukov, V.V. Zuev, S.V. Izumov, M.I. Toiko. **The attractive source of coherent radiation with Tl_3AsSe_3 nonlinear crystal suitable for atmospheric gas analysis.**

The attractive source of IR coherent radiation based on CO_2 -laser and frequency converters with Tl_3AsSe_3 monocrystals is proposed. The source is capable of covering spectral region 2 to 17 μm and operating at room temperature. The second harmonic generator was experimentally investigated. The phase matching angle and its angular and temperature widths are 18°, 1.8° and 6° respectively. The doubling efficiency exceeded 2% for a 4,65 mm long crystal.