

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Ю.М. Андреев, Т.В. Ведерникова, В.Г. Воеводин, П.П. Гейко,
А.И. Грибенюков, С.В. Изюмов, В.В. Зуев, С.М. Козочкин,
Ю.А. Сатов, А.П. Стрельцов

ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ CO₂-ЛАЗЕРА В CdGeAs₂

Сообщается о разработке отечественной технологии изготовления качественных монокристаллов диарсенида кадмия-германия. Коэффициент поглощения в области максимальной прозрачности составляет 0,2–0,3 см⁻¹. Исследована генерация второй гармоники излучения CO₂-лазеров различного типа. Эффективность преобразования частоты излучения наносекундного CO₂-лазера во вторую гармонику составляла 3% и 1% при температуре жидкого азота и комнатной соответственно. Реализованные удвоители частоты могут быть использованы для расширения спектрального диапазона лидаров.

Перспективы применения в нелинейной оптике и пристальное внимание, проявляемое за рубежом к монокристаллам диарсенида кадмия-германия (CdGeAs₂), обусловлены прежде всего высокими значениями двулучепреломления B и коэффициента нелинейной квадратичной восприимчивости d_{14} . Существенно и совпадение области максимальной прозрачности кристаллов с областью генерации CO₂-лазера, самого эффективного лазера ИК диапазона спектра. Величина B , изменяющаяся в пределах от 0,16 до 0,09, достаточна для выполнения условий фазового синхронизма при трех- и много-частотных взаимодействиях практически во всем диапазоне прозрачности кристаллов 2,4 ... 18 мкм [1]. Особый интерес представляют различные преобразователи частоты излучения CO₂-лазеров. Значение d_{14} , лежащее в пределах от $2,36 \cdot 10^{-10}$ м/В до $6,1 \cdot 10^{-10}$ м/В [1, 2], позволяет ожидать эффективностей таких преобразователей частоты, в частности, эффективностей удвоителей частоты, равных нескольким десяткам процентов. Реализованные удвоители частоты с кристаллами, находящимися при криогенных температурах, имеют эффективность удвоения до 27% по энергии [31, вышли из стадии лабораторных разработок и используются при 1%-ной эффективности генерации второй гармоники в трассовых измерителях газового состава атмосферы [4].

Целью данной работы являлось исследование характеристик генераторов второй гармоники (ГВГ) излучения CO₂-лазеров на основе отечественных монокристаллов CdGeAs₂, работающих как при температуре жидкого азота, так и при комнатной температуре.

Освоение технологии синтеза материала CdGeAs₂ с использованием динамического варианта двухтемпературного метода и выращивания монокристаллов CdGeAs₂ по методу Бриджмена [5] позволили нам получить однофазные, растрескавшиеся, иногда распадающиеся на отдельные части слитки с монокристаллическими областями объемом 2 ... 2,5 см³. В большинстве случаев монокристаллы имеют p -тип проводимости, невысокое оптическое качество, обусловленное большой концентрацией свободных носителей. Коэффициент поглощения α на длинах волн излучения CO₂-лазеров достигает при этом 4 ... 6 см⁻¹ при комнатной температуре. В лучших образцах концентрация дырок составляла 0,8 ... $2 \cdot 10^{16}$ см⁻³ при 300 К, менее 10^{12} см⁻³ при 77 К. В первом случае коэффициенты поглощения равнялись 0,3 ... 0,2 см⁻¹ и 1,5 ... 0,8 см⁻¹ на длинах волн излучения CO₂-лазера и его второй гармоники соответственно. Потери уменьшались в три раза при охлаждении до 77°К. Выбор таких образцов является достаточно трудоемкой задачей.

Нелинейные элементы удвоителей частоты изготавливались из монокристаллов различного оптического качества, в основном имели длину не более 3,5 мм, ориентацию $\theta = 33^\circ 50'$, $\phi = 0^\circ$. Рабочие грани полировались механическим способом, не просветлялись.

В качестве источников излучения накачки использовались перестраиваемые CO₂-лазеры различного типа. На рис. 1 приведена блок-схема экспериментальной установки для генерации второй гармоники наносекундного гибридного CO₂-лазера. Детальную информацию о его конструкции и других параметрах можно найти в работе [6]. Исследования велись при работе лазера на переходах 9,4 мкм основной полосы излучения, часто на переходе 9P(16). Импульсы излучения с гауссовым распределением интенсивности по сечению пучка и во времени имели длительность около 2 нс. При энергетической контрастности $\leq 1:10$ в одном импульсе излучения содержалось 5 ... 20 мДж энергии. Импульсный ТЕА-лазер работал в многомодовом режиме с обычной для такого типа лазеров формой импульса излучения и длительностью основного пика излучения 170 нс, полной энергии в импульсе излучения 0,3 Дж. Эти лазеры работали в режиме одиночных импульсов. Непрерывный лазер представлял собой модернизированный вариант серийного ЛГН-701 с выходной мощностью в отдельной линии излучения до 10 Вт. Перестройка частоты излучения осуществлялась с помощью дифрак-

ционной решетки со 100 штрихами на мм, углом блеска в районе 40° , установленной в автоколлимационном режиме.

Измерения энергии и мощности излучения лазеров производились измерителями ИМО–2Н, а временная форма импульсов излучения контролировалась с помощью быстродействующих пироэлектрических приемников и охлаждаемых фоторезисторов Ge:Au. Измерения энергии импульсов излучения наносекундного лазера производились также прокалиброванными пироприемниками с посеребрёнными или зачернёнными рабочими поверхностями, в том числе с поочередной заменой одного типа измерителя на другой в опорном и (или) измерительном каналах. Для отсечки непреобразованного излучения во всех случаях использовался двойной полосовой фильтр из пластин LiF толщиной 20 мм, одна из которых устанавливалась на выходе нелинейного кристалла, вторая — непосредственно на входе измерителя.

Измеренное значение угла синхронизма для ГВГ линии 9Р(16) $9,4 \text{ мкм}$ полосы излучения составило $\Theta = 33^\circ 45'$ при 77°K . С ростом температуры кристалла до комнатной в увеличивается на $50'$. Внешняя угловая ширина синхронизма по уровню 0,5 составила $2^\circ 55'$ для кристалла приведенной длины 1 см, что мало отличается от расчетной величины $2^\circ 44'$.

Пробой свежеработанной поверхности охлажденного кристалла под действием первого импульса излучения наносекундного лазера происходил при интенсивностях $500 \dots 700 \text{ МВт/см}^2$ в зависимости от предыстории поверхности, т. е. от количества протираний, от используемого растворителя и т.д. Импульс излучения ТЕА–лазера приводил к разрушению поверхности в «горячих» точках при средних по сечению пучка интенсивностях $15 \dots 20 \text{ МВт/см}^2$. Действие непрерывного излучения проявлялось через несколько минут облучения при интенсивностях свыше 150 кВт/см^2 .

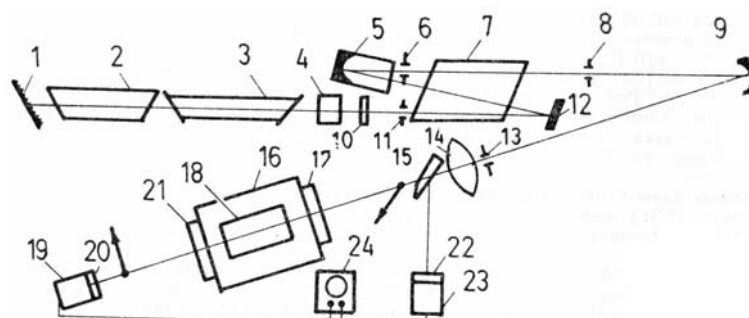


Рис. 1. Блок–схема экспериментальной установки для ГВГ наносекундного CO_2 –лазера на основе CdGeAs_2 : 1 – дифракционная решетка; 2 – ТЕА секция; 3 – секция низкого давления; 4 – электро–оптический затвор; 10 – выходное зеркало CO_2 –лазера; 5 – кювета с SF_6 ; 6, 8, 11, 13 – диафрагмы; 7 – трехпроходный усилитель; 9, 12 – поворотные зеркала; 14 – линза из GaAs ; 15 – клин из КВг; 16 – криостат; 17, 20, 21, 22 – фильтры; 18 – монокристалл CdGeAs_2 ; 19, 23 – измерители энергии; 24 – осциллограф

Лучшие результаты по удвоению частоты излучения получены при использовании монокристалла CdGeAs_2 длиной 3,4 мм, характеризующегося коэффициентами поглощения $\alpha = 0,2 \text{ см}^{-1}$ на длине волны излучения накачки и $\alpha = 0,8 \text{ см}^{-1}$ на длине волны второй гармоники. В этом случае эффективность генерации второй гармоники излучения гибридного CO_2 –лазера по энергии составила 1,1% при комнатной температуре кристалла, при энергии в импульсе излучения накачки 13,8 мДж и диаметре пятна излучения на входе в кристалл 2,25 мм (по уровню $1/e$), т.е. при внутренней интенсивности излучения накачки 150 МВт/см^2 . При охлаждении кристалла до криогенной температуры эффективность увеличилась до 3%. Решение укороченных уравнений, описывающих процесс ГВГ [7] при $d_{14} = 2,36 \cdot 10^{-8} \text{ см/В}$, дает значения эффективностей 1,3 и 4% соответственно, что неплохо согласуется с полученными результатами. В обоих случаях визуальных следов разрушения поверхности кристаллов не отмечалось после нескольких десятков импульсов накачки. Заметного различия лучевой стойкости к действию импульсного излучения у охлажденных и неохлажденных кристаллов не отмечается. Как показали оценки, оптимизация параметров удвоителя частоты из просветленных кристаллов имеющегося оптического качества и доведение интенсивности излучения накачки до пороговой величины может обеспечить увеличение эффективности удвоения до 10%. Однако при использовании непросветленных кристаллов не удалось превысить уровень 3%. Эффективность ГВГ излучения ТЕА–лазера составила 0,2–0,3%, а излучения непрерывного лазера – $10^{-3} \%$.

Итак, разработанная технология изготовления монокристаллов CdGeAs_2 позволила создать ГВГ излучения короткоимпульсных CO_2 –лазеров, работающих с эффективностью удвоения частоты единицы процентов. Продемонстрирована работоспособность неохлаждаемых кристаллов – удвоителей частоты с приемлемой эффективностью порядка 1%. Достижимое улучшение оптического качества кристаллов может увеличить эту эффективность до 10...20% уровня, эффективность удвоения излучения ТЕА и непрерывных лазеров – в 5–8 раз. Относительно низкий уровень эффективности уд-

воения частоты излучения ТЕА и непрерывных CO_2 -лазеров тем не менее достаточен для обеспечения работоспособности трассовых измерителей параметров атмосферы. При этом работа возможна с использованием как зеркальных, так и топографических отражателей. В связи с наличием перспективных ГВГ на основе монокристаллов ZnGeP_2 [8], наибольший интерес представляет использование монокристаллов CdGeAs_2 для преобразования излучения CO_2 и других лазеров в область длин волн более 11 мкм, недоступную для ZnGeP_2 и привлекательную для решения ряда задач оптики атмосферы. В техническом плане наиболее приемлемым вариантом таких источников когерентного излучения будут, вероятно, преобразователи частоты из неохлаждаемых кристаллов CdGeAs_2 с накачкой излучением короткоимпульсных CO_2 -лазеров, возбуждаемых электронным пучком.

1. Shay J.L., Wernick J.H. Ternary chalcopyrite semiconductors: growth, electronic properties and applications. — Oxford: Pergamon Press, 1975, с. 242.
2. Прочухан В.Д., Рудь Ю.В. — Физика и техника полупроводников 1978, т. 12, вып. 2, с. 209.
3. Menyuk N., Iseler G.W., Mooradian A. — Appl. Phys. Lett., 1976, v. 29, № 7, 422.
4. Killinger D.K., Menyuk N. — IEEE Journal of Quant. Electr., 1981, QE-17, № 9, 1917.
5. Андреев Ю.М., Воеводин В.Г., Грибенюков А.И. и др. — В кн.: Спектроскопические методы зондирования атмосферы. — Новосибирск: Наука, 1985, с. 141.
6. Акимов А.Е. и др. Препринт ИАЭ. № 3559, М., 1982, 26 с.
7. Цернике Ф., Мидвинтер Дж. Прикладная нелинейная оптика. — М.: Мир, 1976, 261 с.
8. Андреев Ю.М., Воеводин В.Г., Грибенюков А.И. и др. — Квантовая электроника, 1984, т. 11, № 8, с. 1511.

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

Поступило в редакцию
29 сентября 1987 г.

Yu.M. Andreev, T.V. Vedernikova, V.G. Voevodin, P.P. Geiko,
A.I. Gribenyukov, S.V. Izyumov, V.V. Zuev, S.M. Kozochkin, Yu.A. Satov,
A.P. Streltsov. **Second Harmonic Generation of CO_2 Laser Radiation with CdGeAs_2 .**

The CdGeAs_2 monocrystals of satisfactory optical quality were made. The absorption coefficient in the region of maximum transparency was $0.2-0.3 \text{ cm}^{-1}$ at nitrogen temperatures. Second harmonic generators with CdGeAs_2 for different types of CO_2 lasers were investigated. The energy conversion efficiency of nanosecond pulses exceeded 3% for a 3.4 mm long crystal. Frequency doublers can be used for measurements of the atmospheric parameters.