

УДК 681.7

ФИЗИКА

Д. А. Багдасарян, А. О. Макарян, П. С. Погосян

Генерация разностной частоты в миллиметровой области длин волн с помощью CO_2 -лазера

(Представлено академиком АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 21/III 1983)

В работе приводятся результаты исследований углового распределения мощности излучения на разностной частоте (ИРЧ) в миллиметровой области длин волн при смешении частот импульсного ТЕА CO_2 -лазера в кристалле GaAs.

В настоящее время имеется ряд работ (см., например, (1-5)), посвященных исследованию разностного излучения в субмиллиметровой и дальней инфракрасной областях длин волн, однако ИРЧ в миллиметровой области недостаточно изучено, несмотря на то что такие исследования представляют также и практический интерес, например, для создания остронаправленных, широкоперестраиваемых источников излучения (передающих антенн) в указанной области, получение которых с помощью известных методов связано с определенными трудностями (6). Кроме того, в этой области имеется высокочувствительная и малоинерционная приемная аппаратура, что облегчает определение параметров лазеров и нелинейных кристаллов по характеристикам ИРЧ (7).

При возбуждении ИРЧ обычно применяется метод неколлинеарного синхронизма. Для осуществления такого синхронизма в миллиметровой области длин волн требуется малый угол (порядка дифракционной расходимости) между возбуждающими пучками, что связано с большим различием в частотах возбуждаемого и возбуждающих излучений.

Однако можно применять другой метод синхронизма, который принципиально не отличается от неколлинеарного, но экспериментально легко осуществим. Сущность его заключается в том, что фазовое согласование достигается за счет взаимодействия между угловыми компонентами коллинеарных возбуждающих пучков. Как известно, в этом случае при достаточно больших длинах кристалла ИРЧ идет по черенковскому конусу.

Можно показать, что при таком методе возбуждения ИРЧ существует оптимальный радиус пучка, при котором эффективность преобразования лазерного излучения максимальна. Так, например, при возбуждении ИРЧ гауссовскими пучками с одинаковыми радиусами максимальная эффективность преобразования достигается при выполнении следующего соотношения:

$$r_0 = \frac{\lambda}{2\pi n \sin \theta_0}, \quad (1)$$

где λ — длина волны ИРЧ, θ_0 — угол черенковского излучения ($\cos \theta_0 = n_0/n$, n_0 и n — коэффициенты преломления кристалла на оптической и разностной частотах соответственно).

Отметим, что при этом эффективность преобразования приближается к значениям, получаемым при коллинеарном синхронизме взаимодействующих пучков.

Оценка по формуле (1) для кристалла GaAs ($r_0 = 0,23 \lambda$) дает величину радиуса пучка $r \approx 1,3$ мм, что экспериментально легко реализуемо для миллиметровой области длин волн.

Блок-схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Исследования проводилось на частоте 54,3 ГГц ($\lambda = 5,6$ мм), что соответствует разности частот двух соседних вращательных линий P(20) и P(22) перехода $00^0_1 - 10^0_0$ молекулы CO_2 .

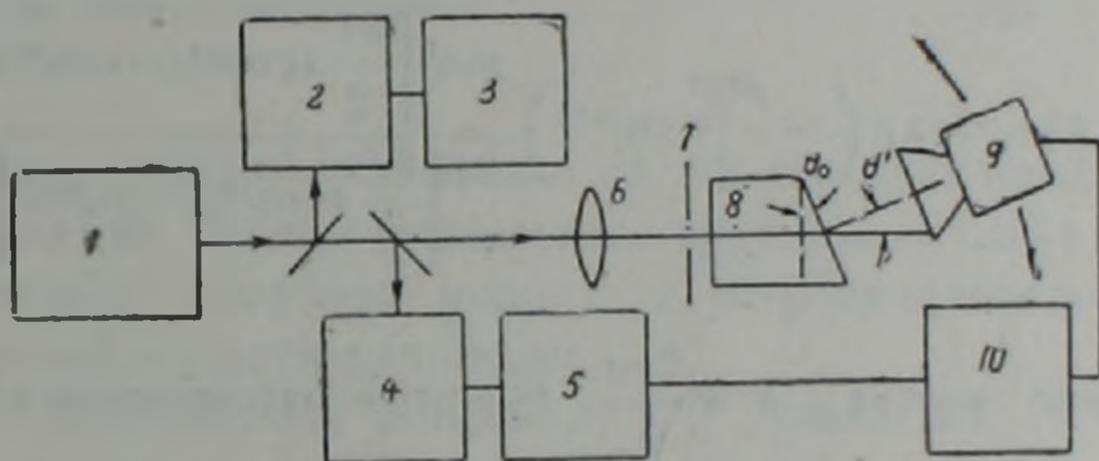


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки; 1 — импульсный ТЕА CO_2 -лазер, 2 — drag-детектор, 3 — осциллограф С7-10А, 4 — монохроматор, 5 — Ge: Au-детектор, 6 — линза с $F=30$ см, 7 — диафрагма, 8 — кристалл GaAs, 9 — рупор с детекторной головкой, 10 — осциллограф С8-2

Перестройка частоты не проводилась, поскольку мы ставили перед собой задачу качественно исследовать угловое распределение ИРЧ.

Настройку лазера на две соседние линии осуществляли путем подбора парциальных давлений смеси ($\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 2 : 3$) и параметров резонатора. Часть лазерного излучения направляется на drag-детектор, подключенный к осциллографу С7-10А, с помощью которого изучали форму и временное перекрытие возбуждающих пучков. Длительности импульсов составляли ~ 80 нс. Спектральные исследования проводили с помощью монохроматора, собранного на базе спектрографа ИКС-21, в котором призма была заменена на металлическую дифракционную решетку. Энергию лазеров измеряли с помощью ИМО-2, она составляла $\sim 0,8$ Дж. При измерении углового

распределения мощности ИРЧ применяли специальные рупорные антенны, а регистрацию ИРЧ проводили диодом Д407.

Высокоомный кристалл ($\rho > 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$) GaAs ориентировался так, что вектор напряженности электрических полей возбуждающих пучков был параллелен кристаллографическому направлению [111].

Известно, что эффективная длина нелинейного взаимодействия ограничивается потерями кристалла (она порядка обратной величины коэффициента поглощения). С этой целью стандартным волноводным методом ⁽⁸⁾ был измерен коэффициент поглощения α образца, который на длине волны 5,6 мм составлял $\sim 0,2 \text{ см}^{-1}$. Поэтому были использованы кристаллы длиной $L = 1/\alpha = 5,6 \text{ см}$. Для вывода ИРЧ, распространяющегося в кристалле под углом Черенкова ($\Theta_0 \approx 22^\circ$) выходной торец был срезан под углом $\sim 22^\circ$.

Экспериментальные результаты сравниваются со следующей формулой, полученной для углового распределения мощности ИРЧ при возбуждении коллинеарными лазерными пучками гауссовского профиля ⁽⁹⁾:

$$P(r, \Theta, k) \sim r^4 \exp\left(-\frac{r^2 k^2}{2} \sin^2 \Theta\right) \frac{\sin^2 \left| \frac{kL}{2} (\cos \Theta_0 - \cos \Theta) \right|}{\left| \frac{kL}{2} (\cos \Theta_0 - \cos \Theta) \right|^2} \quad (2)$$

где r — радиус пучка, $k = \frac{2\pi n}{\lambda}$, Θ — угол наблюдения относительно оси кристалла.

Такое сравнение, конечно, носит качественный характер, поскольку выражение (2) получено без учета потерь.

Измерения показали, что угловое распределение ИРЧ имеет лепестковую структуру. При оптимальном радиусе пучка ($r_0 \approx 1,3 \text{ мм}$) основная мощность излучения идет под углом Черенкова, и угловая ширина (по уровню 0,5) составляет $\sim 10^\circ$. Мощность излучения при этом $\sim 30 \text{ мВт}$, что более чем на порядок превосходит мощность излучения в направлении боковых лепестков. Теоретическая оценка мощности (принимая величину нелинейной восприимчивости арсенида галлия $\chi = 3 \cdot 10^{-6} \text{ СГСЭ}$ ⁽³⁾) дает $\sim 200 \text{ мВт}$. Такое расхождение может быть объяснено как неточностью значения χ , так и неточностью наших измерений значений мощностей возбуждающих и возбуждаемого излучений.

Относительно боковых лепестков углового распределения ИРЧ отметим следующее. С увеличением радиуса возбуждающих пучков происходит «перекачка» мощности из главного лепестка в боковые, и для каждого бокового лепестка имеется свой оптимальный радиус. На основе численных расчетов было получено, что для второго лепестка он составляет $\sim 1,9 \text{ мм}$. Измеренное угловое распределение ИРЧ при таком радиусе возбуждающих пучков изображено на рис. 2. Как видно, в этом случае мощность ИРЧ на втором лепестке уже составляет примерно 1/3 от мощности на главном лепестке.

Нами проводились также измерения мощности ИРЧ на втором лепестке в зависимости от радиуса возбуждающих пучков (рис. 3).

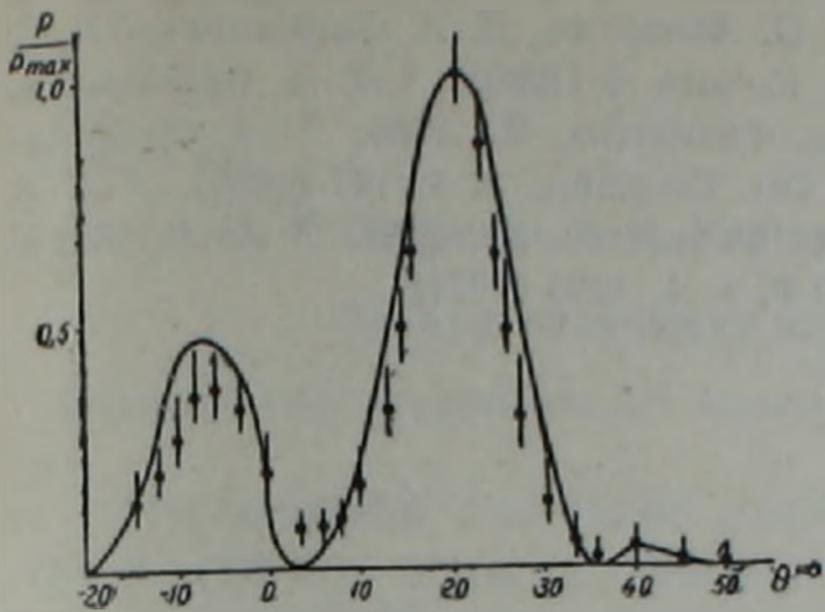


Рис. 2. Угловое распределение мощности ИРЧ. Сплошная кривая—расчетная с учетом преломления излучения при выходе из кристалла; точки—эксперимент

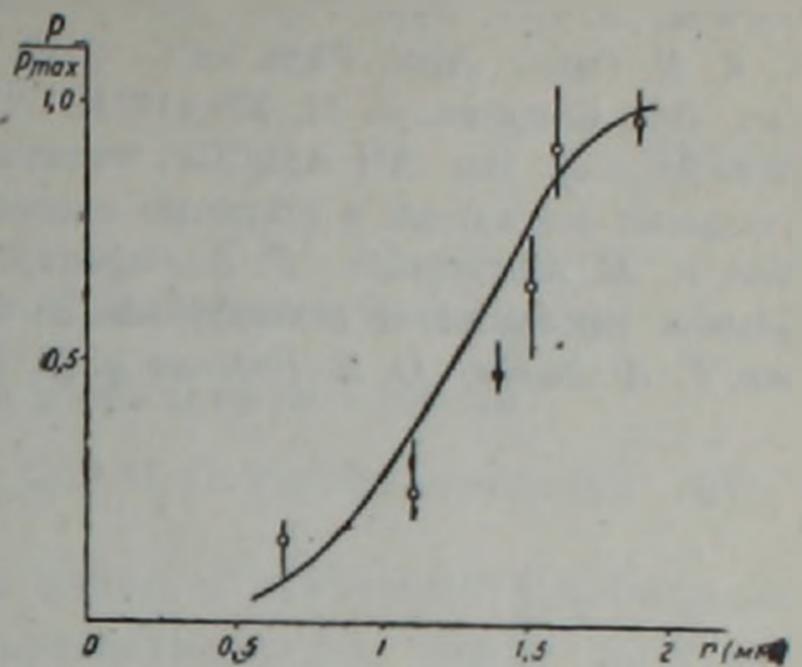


Рис. 3. Зависимость мощности ИРЧ от радиуса возбуждающего пучка. Сплошная кривая—расчетная, точки—эксперимент

Результаты работы указывают на то, что предлагаемым методом при использовании более совершенных кристаллов GaAs (с меньшими потерями) можно получить мощное и остронаправленное излучение в миллиметровой области длин волн.

Авторы признательны академику АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляну за ценные обсуждения.

Ереванский государственный университет

Գ. Հ. ԲԱՂԿԱՍԱՐՅԱՆ, Ա. Հ. ՄԱԿԱՐՅԱՆ, Պ. Ս. ՊՈՂՈՍՅԱՆ

Տարբերային հաճախականության գեներացիան ալիքի երկարության միլիմետրական տիրույթում GaAs բյուրեղում իմպուլսային CO₂ լազերի օգնությամբ

Ստացված է տարբերային հաճախականության գեներացիա ալիքի երկարության միլիմետրական տիրույթում GaAs բյուրեղում իմպուլսային CO₂ լազերի երկու հարևան պտտական զծերի խառնումով:

Փորձնականորեն ուսումնասիրված է տարբերային հաճախականության ճառագայթման հզորության անկյունային բաշխվածությունը:

Չափումների արդյունքները համեմատվել են դառայան տեսքի լազերային փնջերի համար կատարված հաշվարկների արդյունքների հետ:

Բերված է նաև զուգահեռ գրգռող փնջերի դեպքում տարբերային հաճախականության հզորության կախումը գրգռող լազերային փնջերի շառավիղներից:

Արդյունքներից հետևում է, որ միլիմետրական տիրույթում կարելի է ստանալ հզոր և մեծ ուղղվածությամբ ճառագայթում:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ F. F. Geyer, H. Y. Fan, J. Appl. Phys., v. 50, 30 (1979). ² N. Lee, R. L. Aggarwal, B. Lax, Appl. Phys. Lett., v. 29, 45 (1976). ³ T. Y. Chang, N. VanTran, S. K. N. Patel, Appl. Phys. Lett., v. 10, 357 (1968). ⁴ N. Lee, R. L. Aggarwal, B. Lax, Opt. Commun., v. 11, 339 (1974). ⁵ Ю. О. Аветисян, Д. А. Багдасарян, П. С. Погосян и др. Изв. АН АрмССР. Физика. т. 15, вып. 6 (1980). ⁶ Л. А. Вайнштейн, Открытые резонаторы и открытые волноводы, Физматгиз, М., 1966. ⁷ А. Н. Макарян, К. М. Movsessian, P. S. Pogossian. Opt. Commun., v. 1, 147 (1980). ⁸ А. А. Брандт, Исследование диэлектриков на СВЧ, Физматгиз, М., 1963. ⁹ У. А. Абдуллин, Г. А. Ляхов, О. В. Руденко и др. ЖЭТФ, т. 4, 1295 (1974).