

УДК 537.87

ГЕНЕРАЦИЯ РАЗНОСТНОЙ ЧАСТОТЫ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА В ПЕРИОДИЧЕСКИ ПОЛЯРИЗОВАННОМ КРИСТАЛЛЕ LiNbO_3

В.Р. ТАТЕВОСЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 2 февраля 2004 г.)

Показано, что в периодически поляризованном кристалле ниобата лития можно получить генерацию разностной частоты терагерцового диапазона, излучаемую в направлении, перпендикулярном распространению возбуждающих оптических пучков. Рассчитанное значение мощности терагерцовой волны составляет 2,5 Вт при использовании лазеров с мощностью 10 кВт и длине кристалла 5 см.

В последние годы широкое распространение получили исследования новых методов генерации излучения в терагерцовом (ТГц) диапазоне частот [1-3]. Это связано с тем, что имеющиеся источники ТГц излучения весьма громоздки, малоэффективны и обладают высокой стоимостью. Одним из перспективных методов получения ТГц излучения является генерация разностной частоты (ГРЧ) бигармонического лазерного излучения в нелинейном кристалле. Однако большинство оптических нелинейных материалов (в частности, ниобат лития) обладают высоким поглощением ТГц волн, что препятствует получению мощного ТГц излучения.

Для преодоления этой трудности в работе [4] было предложено использовать периодически поляризованный кристалл ниобата лития (ППКЛН). Способы изготовления таких кристаллов подробно изложены в работе [5]. Путем специального выбора пространственного периода ППКЛН, терагерцовая волна излучается в направлении, перпендикулярном распространению лазерных пучков. В этом случае путь, пройденный терагерцовой волной в кристалле, существенно уменьшается и, следовательно, влияние поглощения становится незначительным. Однако для конструктивной интерференции ТГц волн, испускаемых с различных участков (глубин) кристалла, необходимо, чтобы поперечный размер лазерного пучка (в направлении распространения терагерцового излучения) был много меньше, чем длина волны генерируемого излучения в кристалле λ_3 . При генерации волны с частотой 1 ТГц длина волны в кристалле составляет 59 мкм. Следовательно, необходимо использовать сильно сфокусированные лазерные пучки с по-

перечным размером $r \sim 10-20$ мкм. Последнее сильно ограничивает величину допустимой мощности используемых лазеров, а, следовательно, и мощность ГРЧ из-за возможности оптического разрушения кристалла. Кроме того, крайне мала эффективная длина нелинейного взаимодействия ввиду дифракционной расходимости лазерного излучения. Таким образом, представляет интерес разработать метод ГРЧ, который позволил бы использовать лазерные пучки с широкой апертурой для получения ТГц волны, испускаемой в направлении, перпендикулярном распространению лазерного излучения.

В настоящей работе с этой целью предлагается использовать периодически поляризованный кристалл ниобата лития, в котором изменения знака нелинейной восприимчивости происходит как в направлении распространения лазерных пучков, так и в направлении излучения ТГц волны.

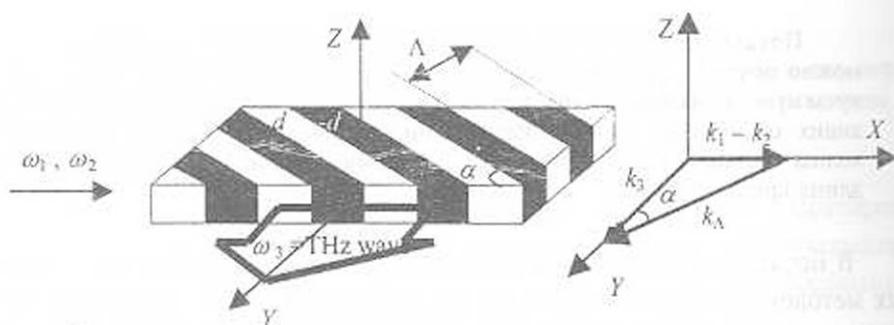


Рис. 1. Конфигурация нелинейного взаимодействия в кристалле.

Конфигурация нелинейного взаимодействия представлена на рис.1, где темными и светлыми участками изображены домены кристалла, различающиеся знаком нелинейной восприимчивости d , координатная ось X ориентирована вдоль направления распространения оптических пучков, а ось Y — вдоль направления испускания ТГц волны. Оптические пучки локализованы вблизи бокового торца кристалла, с целью уменьшения расстояния, проходимого ТГц волной в нелинейном материале. Поляризация оптического излучения параллельна оптической оси кристалла Z .

Пространственный период Λ периодически поляризованного кристалла и угол ориентации доменной стенки α выбираются так, чтобы в процессе ГРЧ удовлетворялось условие векторного синхронизма:

$$k_1 - k_2 + k_\Lambda = k_3, \quad (1)$$

где $k_j = \omega_j n_j / c$ — волновые числа на частотах ω_j , $j=1,2,3$, ω_1 и ω_2 — частоты оптических излучений, $\omega_3 = \omega_1 - \omega_2$ — разностная частота, соответствующая ТГц диапазону, n_j — показатели преломления на частотах ω_j , c — скорость света, $k_\Lambda = 2\pi/\Lambda$.

Проектируя векторное соотношение (1) в направлении осей X и Y

имеем:

$$\frac{2\pi}{\Lambda} \sin \alpha = k_1 - k_2, \quad (2)$$

$$\frac{2\pi}{\Lambda} \cos \alpha = k_3. \quad (3)$$

Физический смысл полученных соотношений достаточно ясен. Условие (2) означает, что фаза волны нелинейной поляризации на разностной частоте не зависит от координаты X . Следовательно, каждый тонкий слой индуцированных диполей (параллельных плоскости ZX) будет формировать ТГц излучение, распространяющееся в основном вдоль оси Y , т.е. в направлении, перпендикулярном распространению оптического излучения. Согласно условию (3), расстояние между соседними доменами ППКЛН в направлении испускаемых ТГц волн составляет $\lambda_3/2$, где λ_3 — длина волны ТГц излучения в кристалле. Поскольку знак нелинейной восприимчивости в соседнем домене противоположен, то испускаемые ТГц волны складываются синфазно.

Воспользовавшись уравнениями (2) и (3), для необходимого угла ориентации α и пространственного периода кристалла Λ получаем

$$\alpha = \arctg \frac{k_1 - k_2}{k_3}, \quad (4)$$

$$\Lambda = 2\pi \frac{\sin \alpha}{k_1 - k_2}. \quad (5)$$

Полученные выражения легко упростить, пользуясь тем, что при генерации ТГц частот методом ГРЧ имеет место неравенство $\omega_3 \ll \omega_1, \omega_2$. Следовательно, разность волновых чисел может быть представлена в виде $k_1 - k_2 \approx \omega_3 n_g / c$, $n_g = [n + \omega(dn/d\omega)]_{\omega_2}$ — коэффициент преломления, соответствующий групповой скорости оптического излучения в кристалле.

Пользуясь этим, соотношения (4) и (5) можно переписать в виде

$$\alpha = \arctg \frac{n_g}{n_3}, \quad (6)$$

$$\Lambda = \lambda_{30} \cos \alpha = \frac{\lambda_{30}}{n_3} \cos \alpha, \quad (7)$$

где $\lambda_{30} = \lambda_3 n_3$ — длина волны ТГц излучения в свободном пространстве.

Таким образом, нетрудно рассчитать пространственный период Λ и угол ориентации α , необходимые для получения квази-синхронной генерации ТГц волн в периодически поляризованном кристалле. Рассмотрим, в качестве примера, генерацию ТГц волны с $\lambda_{30} = 200$ мкм путем смешения излучений лазеров с длинами волн в окрестности 1 мкм. Подстановка в (6) и (7) величин показателей преломления кристалла $n_3 = 5,1$ и $n_g = 2,2$ дает значения

$\Lambda = 36$ мкм и $\alpha = 23^\circ$, которые могут быть реализованы на практике.

Для расчета мощности генерации ТГц волны нелинейный кристалл рассматривался нами как антенна [6], питаемая сторонним током $j = \partial P^{NL} / \partial t$, где P^{NL} – нелинейная поляризация кристалла на разностной частоте. В результате была получена следующая оценка эффективности генерации: $\eta = P_3 / P_1 P_2 L = 5$ нВт/Вт²см, где L – длина кристалла, P_3 – мощность ТГц излучения, $P_{1,2}$ – мощности возбуждающих лазерных излучений. Отсюда следует, что при длине кристалла 5 см и мощности импульсных лазеров $P_1 = P_2 = 10$ кВт мощность ТГц излучения доходит до 2,5 Вт.

Таким образом, предлагаемая новая конфигурация нелинейного взаимодействия позволяет получить мощное импульсное излучение ТГц диапазона частот.

Автор признателен Ю.О.Аветисяну за постановку задачи и А.А.Ахумянину за ценные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. K.Kawase, J.Shikata, H.Minamide, K.Imai, H.Ito. Appl. Opt., **40**, 1423 (2001).
2. R.K.Lai, J.Hwang, T.B.Norris, J.F.Whitaker. Appl. Phys. Lett., **72**, 3100 (1998).
3. Y.-S.Lee, T.Meade, V.Perlin, T.Norris, A.Galvanauskas. Appl. Phys. Lett., **76**, 2505 (2000).
4. Y.Avetisyan, Y.Sasaki, H.Ito. Appl. Phys., **B 73**, 511 (2001).
5. M.M.Fejer, G.A.Magel, D.H.Jundi, R.L.Byer. IEEE J. Quantum Electron., **28**, 2631 (1992).
6. Ю.О.Аветисян, П.С.Погосян. Письма в ЖТФ, **2**, 1144 (1976).

ՏԵՐԱՀԵՐՑԱՅԻՆ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ՏԱՐԲԵՐԱՅԻՆ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ ԳԵՆԵՐԱՅԻԱՆ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ԲԵՎԵՈՒՑՎԱԾ LiNbO₃ ԲՅՈՒՐԵՂՈՒՄ

Վ.Ռ. ԹԱԴԵՎՈՍՅԱՆ

Յույց է տրված, որ պարբերական բևեռացված լիթումի միոբատի բյուրեղում կարելի է ստանալ տերահերցային տիրույթի տարբերային հաճախության գեներացիա գրգռող օպտիկական փնջերի տարածմանը ուղղահայաց ուղղությամբ: Հաշվարկված տերահերցային տիրույթի հզորության արժեքը կազմում է 2,5 Վտ օպտիկական լազերների 10 կՎտ հզորության և բյուրեղի 5սմ երկարության դեպքում:

TERAHERTZ-WAVE DIFFERENCE FREQUENCY GENERATION IN PERIODICALLY POLED LiNbO₃ CRYSTAL

V.R. TADEVOSYAN

It is shown that terahertz-wave difference frequency generation can be radiated in the direction perpendicular to the propagation of optical beams by using of periodically poled lithium niobate crystal. According to calculations, the power of terahertz-wave is about 2,5 W for the power of lasers 10 kW and the crystal length 5 cm.