

Физика

Ю. О. АВЕТИСЯН, К. М. МОВСИСЯН, П. С. ПОГОСЯН

ГЕНЕРАЦИЯ РАЗНОСТНОЙ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРНОГО
 ИЗЛУЧЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
 НЕЛИНЕЙНОГО КРИСТАЛЛА

Приводятся результаты исследования генерации разностного излучения миллиметрового диапазона длин волн при нелинейном взаимодействии лазерных полей в кристалле ниобата лития. Определяются нелинейные характеристики последнего.

Проблема генерации разностной частоты (ГРЧ) лазерного излучения имеет самостоятельный научный интерес, и, кроме того, ее практическое решение позволит создать широкоперестраиваемые генераторы в СВЧ и дальнем-инфракрасном диапазонах (см., напр., [1]).

В настоящей работе сообщается об экспериментальном исследовании ГРЧ миллиметрового диапазона при нелинейном взаимодействии излучений лазеров в кристалле ниобата лития, помещенном в прямоугольный волновод. Приводятся результаты измерений характеристик нелинейного кристалла.

Экспериментальные исследования проводились на двух установках. Первая была аналогична описываемой нами в [2], т. е. ГРЧ происходит за счет нелинейного взаимодействия спектральных компонент излучения неодимового лазера с синхронизацией мод. Расчет спектральной плотности, для этого случая проводимый по методике, изложенной в [3], на волне типа H_{10} при гауссовых возбуждающих пучках дает

$$I(\omega) = \frac{2^{13} \pi^2 \chi_{\text{эф}}^2 \exp\left(-\frac{\pi^2 d^2}{4a^2}\right)}{c^3 ab(n_0 + 1)^4 (n_p + 1)^2} B(\omega) \cdot S(\omega), \quad (1)$$

где

$$B(\omega) = \frac{1 + e^{-2\alpha L} - 2e^{-\alpha L} \cos \Delta k L}{\Delta k^2 + \alpha^2}; \quad \Delta k = \frac{\omega}{c} (n_p - n_0);$$

$$S(\omega) = \frac{P^2}{\sigma} \sqrt{\frac{2 \ln 2}{\pi}} \exp\left\{-\frac{2(\ln 2)\omega^2}{\sigma^2}\right\};$$

n_0 и $n_p = \sqrt{\epsilon - \left(\frac{\omega_{кр}}{\omega}\right)^2}$ — коэффициенты преломления на оптической и разностной частотах; $I(\omega)$, α и $\omega_{кр}$ — спектральная плотность, коэффициент затухания и критическая частота волны типа H_{10} ; ω — частота; ϵ и L — диэлектрическая проницаемость и длина кристалла; P , σ , и d — мощ-

ность, ширина линии и эффективный размер пятна лазерного излучения, a , b — размеры широкой и узкой стенок волновода; $\chi_{эф}$ — эффективное значение тензора нелинейной восприимчивости, определяющее вклад лазерных полей в составляющую вектора нелинейной поляризации \vec{P}^{NL} по оси параллельной узкой стенке волновода.

Тот факт, что ГРЧ на волне типа H_{10} возникает только за счет составляющей \vec{P}^{NL} по оси, параллельной узкой стенке волновода, проверялся следующим образом. Кристалл ориентируется так, чтобы кристаллографическая ось y была параллельна узкой стенке, а ось z — широкой стенке волновода. Пользуясь видом тензора квадратичной нелинейной восприимчивости кристалла $LiNbO_3$ [4], заметим, что при этом $P_y^{NL} \sim \chi_{эф} = \chi_{32} \cos^2 \varphi$, $P_z^{NL} \sim (\chi_{32} \cos^2 \varphi + \chi_{33} \sin^2 \varphi)$, где φ — угол между плоскостью поляризации лазерного излучения и узкой стенкой волновода. Строится зависимость мощности ГРЧ от угла поворота плоскости поляризации лазерного излучения (см. рис. 1). Видно, что ее можно аппроксимиро-

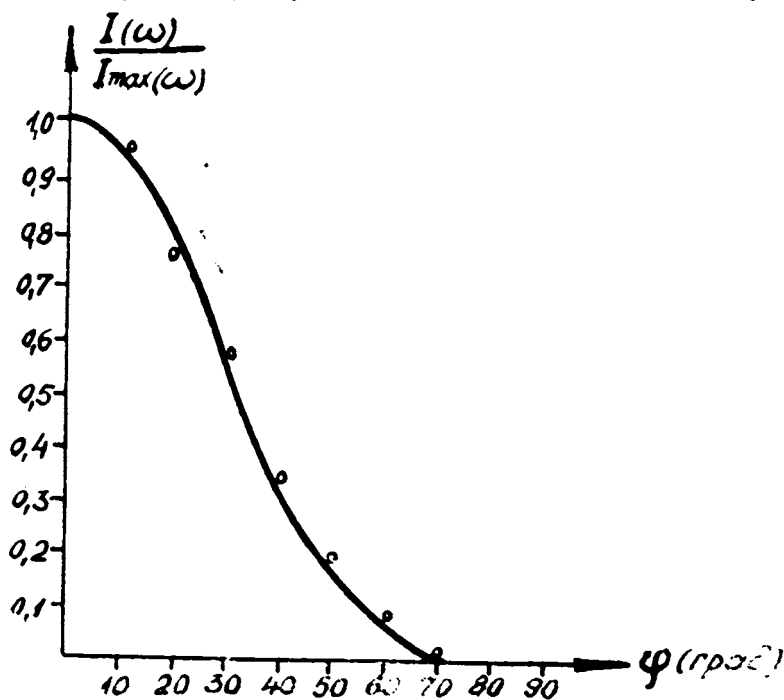


Рис. 1. Зависимость мощности ГРЧ от угла поворота плоскости поляризации лазерного излучения.

вать функцией $\cos^4 \varphi$. Это свидетельствует о том, что мощность ГРЧ пропорциональна $(P_y^{NL})^2$, так как в кристалле $LiNbO_3$ согласно данным по линейному электрооптическому эффекту (ЛЭОЭ), отношение $\frac{\chi_{32}}{\chi_{33}} = 3,1$.

Изучение влияния осевой составляющей P_x^{NL} на процесс ГРЧ нами не проводилось, поскольку согласно общим теоретическим соображениям

(см., напр., [5]) последняя вообще не может вызывать возбуждение волн H типа.

Анализ выражения (1) показывает, что при выполнении неравенств $L \gtrsim \frac{3}{\alpha} \gg \frac{\pi}{\Delta k}$ зависимостью спектральной плотности от частоты

можно пренебречь. Подстановка численных значений из работ [6, 7] указывает на то, что при длине кристалла 15 мм неравенства удовлетворяются. Эксперимент с кристаллом приведенной длины свидетельствует о справедливости этих рассуждений. Регистрируемая спектральная плотность разностного излучения в области частот 12—150 Гц не меняется и ее значение составляет 10^{-13} вт/гц. Приведенная величина есть среднее значение за длительность цуга излучения неодимового лазера. Пиковое значение в течение одного ультракороткого импульса оценивается как $6 \cdot 10^{-11}$ вт/гц. Рассчитанное значение средней спектральной плотности составляет $4 \cdot 10^{-13}$ вт/гц, т. е. с точностью до порядка, формула (1) предсказывает результат эксперимента.

Далее измерялись характеристики нелинейного кристалла. С целью определения диэлектрических потерь кристалла LiNbO_3 снималась зависимость мощности ГРЧ от ее длины. Последняя сравнивалась с расчетной (формула (1)). Оцененный таким образом тангенс угла диэлектрических потерь составил $(5 \pm 1) \cdot 10^{-2}$. Примерно такое же значение приводят авторы [6].

Нами исследовалась дисперсия тензора нелинейной восприимчивости кристалла LiNbO_3 в миллиметровой области длин волн. Компоненты тензора нелинейной восприимчивости могут быть определены из выражения (1) по результатам абсолютного измерения мощности ГРЧ при заданной интенсивности возбуждающего излучения. Однако при этом может быть допущена значительная ошибка, вызванная многомодовым и импульсным характером лазерного излучения, что не учтено в выражении (1). По этой причине мы ограничились определением относительных значений компонент тензора нелинейной восприимчивости путем измерения мощности ГРЧ при различных ориентациях кристалла, а также сравнением с мощностью ГРЧ в кристалле кварца.

Здесь заметим, что поскольку ГРЧ на используемой экспериментальной установке осуществляется за счет нелинейного взаимодействия спектральных компонент излучения неодимового лазера, с ее помощью можно определить лишь те компоненты тензора, которые определяют вклад в нелинейную поляризацию лазерных полей с одинаковым направлением плоскости поляризации. Для определения других компонент тензора нелинейной восприимчивости (χ_{15} , χ_{16}) была собрана установка, блок-схема которой приведена на рис. 2.

Приведем ее краткое описание. Рубиновые 90° кристаллы помещались в один резонатор так, чтобы их оптические оси были взаимно перпендикулярны. Такое расположение кристаллов исключает взаимное влияние лазеров. Для расстройки частот излучения рубиновых лазеров использовалась методика, подобная приводимой в [8]. Один из рубиновых элементов нагревался, и необходимая разность их температур поддерживалась специальным блоком терморегулировки. Излучение этих лазеров фокусировалось линзой на кристалл LiNbO_3 , помещенный в прямоугольный волновод. Разностное излучение регистрировалось специальным СВЧ приемником.

По сравнению с установкой неодимового лазера вышеотмеченная обладает рядом преимуществ, в частности, более высокой мощностью разностного излучения (около 500 мвт) и возможностью перестройки

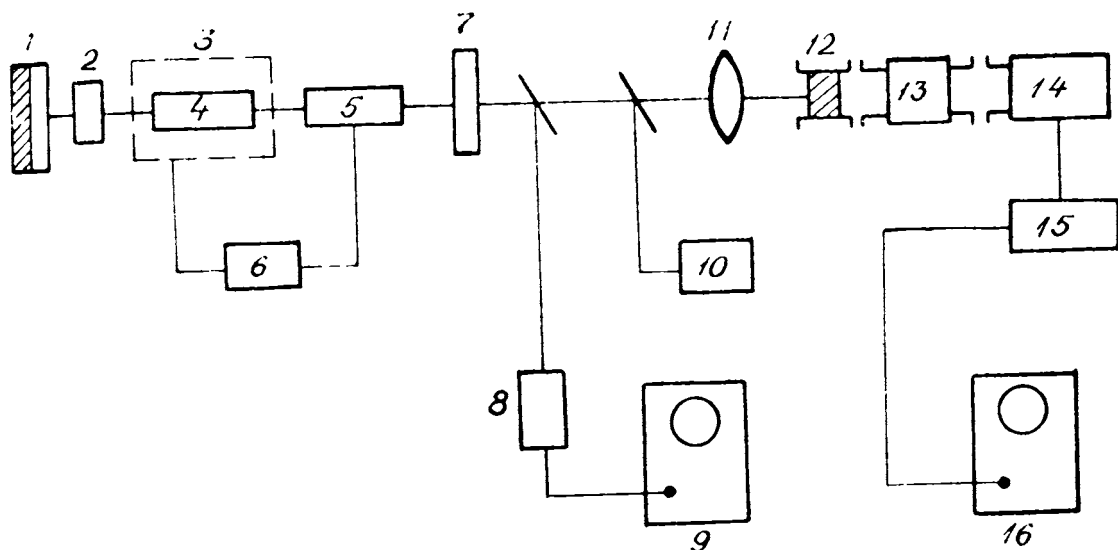


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки. 1 — глухое зеркало; 2 — пассивный затвор; 3 — термостат; 4, 5 — рубиновые элементы; 6 — блок контроля разности температур; 7 — полупрозрачное зеркало; 8 — фотоземлет ФЭК-09; 9 — измеритель временных интервалов ИИ2-7; 10 — измеритель энергии ИКТ-1; 11 — линза; 12 — нелинейный кристалл; 13 — СВЧ приемник; 14 — усилитель УЗ-33; 15 — осциллограф С1-11.

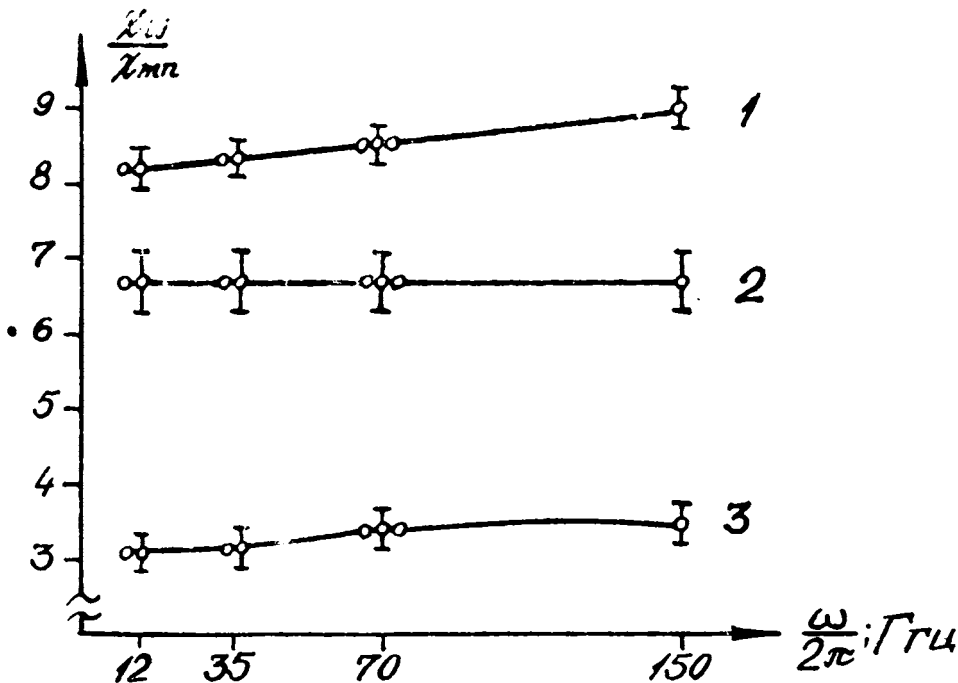


Рис. 3. Дисперсия отношения компонент тензора нелинейной восприимчивости.

$$1 - \frac{\chi_{33}}{\chi_{22}}; \quad 2 - \frac{\chi_{15}}{\chi_{16}}; \quad 3 - \frac{\chi_{33}}{\chi_{31}}$$

разностной частоты путем изменения разности температур рубиновых кристаллов.

Дисперсия отношения компонент тензора нелинейной восприимчи-

восте кристалла LiNbO_3 по данным ГРЧ на обеих экспериментальных установках представлена на рис. 3.

Для сравнения относительные значения компонент тензора нелинейной восприимчивости, вычисленные по данным линейного электрооптического эффекта (ЛЭОЭ) и генерации второй гармоники (ГВГ), сведены в табл. 1. По результатам ГРЧ в кристалле кварца было найдено

$$\text{отношение } \frac{\chi_{33}^{\text{LiNbO}_3}}{\chi_{11}^{\text{SiO}_2}} = 390.$$

Видно, что экспериментальные значения близки к электрооптическим и заметно различаются от значений, предсказываемых по ГВГ. Это свидетельствует о том, что в миллиметровом диапазоне еще не наблюдается фундаментальной дисперсии нелинейной восприимчивости кристалла ниобата лития.

Таким образом, методом ГРЧ можно создать широко-перестраиваемые генераторы СВЧ излучения с достаточной мощностью. Кроме того, ГРЧ позволяет определять характеристики нелинейных кристаллов.

Таблица 1

	$\frac{\chi_{33}}{\chi_{22}}$	$\frac{\chi_{33}}{\chi_{31}}$	$\frac{\chi_{15}}{\chi_{16}}$
ЛЭОЭ	7,8	3,1	7,6
ГВГ	21	10	2

Кафедра радиофизики и электроники

Поступила 16.10.1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Bloembergen N., Opt. Commun., 18, 53, 1976.
2. Аветисян Ю. О., Погосян П. С., Письма в ЖТФ, 2, 1144, 1976.
3. Аветисян Ю. О., Мартиросян Р. М., Мирзабекян Э. Г., Погосян П. С., Квантовая электроника, 5, 659, 1978.
4. Цернике Ф., Мидвинтер Дж., Прикладная нелинейная оптика, изд. «Мир», М., 1976.
5. Вайнштейн Л. А., Электромагнитные волны, изд. «Советское радио», М., 1957.
6. Поплавко Ю. М., ФТТ, 15, 1473, 1973.
7. Boyd G., Appl. Phys., 38, 1941, 1967.
8. Faries D., Gehing K., Richards P., Shen Y., Phys. Rev., 180, 363, 1969.

ՅՈՒ. Չ. ԱՎԵՏԻՅԱՆ, Կ. Մ. ՄՈՎՍԻՅԱՆ, Պ. Ս. ՊՈՂՈՍԱՆ

ԱԶԵՐԱՅԻՆ ԶԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ՏԱՐՔԵՐԱՅԻՆ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ ԳԵՆԵՐԱՑՐԱՆ
ԵՎ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԲՅՈՒՐԵՂԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Բերված են լիթիումի նիոբաթի բյուրեղում լազերային դաշտերի ոչ գծային փոխազդեցությանը պայմանավորված ալիքների միլիմետրական տիրույթի տարբերային ճառագայթման, գեներացիայի ուսումնասիրության արդյունքները:

Որոշված են բյուրեղի ոչ գծային բնութագրերը: