

ЧЕРЕНКОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ОТ РАСПРОСТРАНЯЮЩЕЙСЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ СРЕДЫ

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

Получено излучение Вавилова – Черенкова в миллиметровой области длин волн от распространяющейся со "сверхсветовой" скоростью нелинейной поляризации среды и изучено его угловое распределение.

Излучение Вавилова – Черенкова от движущегося осциллятора рассматривалось еще в 1942 г. Франком ¹. Позже была показана возможность черенковского излучения от волны любой природы ². В работе ³ впервые обращено внимание на эффект Вавилова – Черенкова от волны нелинейной поляризации, а в ⁴ проведен детальный анализ указанного эффекта при генерации лазерного излучения разностной частоты.

Несмотря на это нам известны сообщения о прямых наблюдениях излучения Вавилова – Черенкова от волны нелинейной поляризации.

В настоящей работе сообщается о результатах исследований черенковского излучения волны нелинейной поляризации в миллиметровой области длин волн, возникающего при смещении частот импульсного CO₂ лазера в кристалле GaAs.

Исследование эффекта Вавилова – Черенкова от нелинейной поляризации удобно провести при генерации разностной частоты, поскольку в этом случае почти для всех нелинейных

кристаллов волна нелинейной поляризации распространяется со "сверхсветовой" скоростью (показатель преломления на разностной частоте больше, чем на частотах возбуждающих излучений). Если учесть, что существует оптимальный радиус возбуждающих пучков (радиус, при котором эффективность преобразования лазерного излучения максимальная), который для реальных ситуаций порядка длины волны разностной частоты, то для получения указанного эффекта удобно провести исследования в СВЧ области. Кроме того, в этой области имеется достаточно чувствительная и малоинерционная приемная аппаратура. Так, например, при гауссовых возбуждающих пучках эффективный радиус определяется из соотношения:

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

где λ – длина волны излучения, θ_0 – черенковский угол ($\cos \theta_0 = n_0/n$, n_0 и n – коэффициенты преломления кристалла для возбуждающего и возбуждаемого излучений соответственно). Оценка по формуле (1) для кристалла GaAs дает величину радиуса пучка $r_0 = 0,23\lambda$, что экспериментально легко реализуемо для миллиметровой области длин волн.

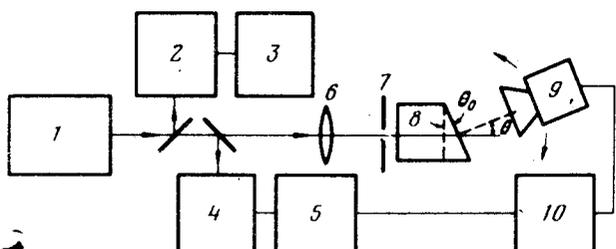


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: 1 – импульсный ТЕА CO_2 -лазер, 2 – drag-детектор, 3 – осциллограф С7-10А, 4 – монохроматор, 5 – Ge : Au – детектор, 6 – линза ($F = 30$ см), 7 – диафрагма, 8 – кристалл GaAs, 9 – рупор с детекторной головкой, 10 – осциллограф С8-2

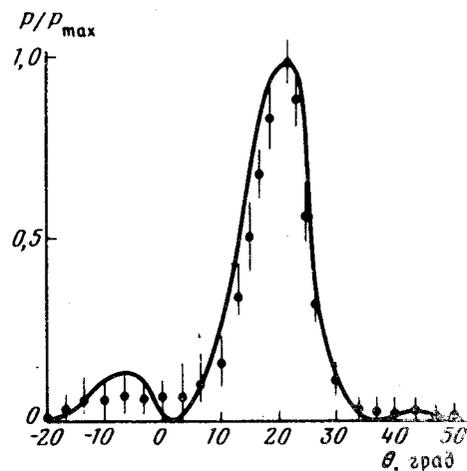


Рис. 2

Рис. 2. Угловое распределение мощности ИРЧ. Сплошная кривая – расчетная с учетом преломления излучения при выходе из кристалла. Точки – эксперимент

Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

Исследования проводились 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 .

Настройка лазера на две соседние линии осуществлялась путем подбора парциальных давлений смеси ($\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 3 : 2$) и параметров резонатора. Часть лазерного излучения направляется на drag-детектор подключенный к осциллографу С7-10А, с помощью которого изучались форма и временное перекрытие возбуждающих пучков. Длительность импульсов составляла ~ 80 нсек. Энергия лазеров измерялась с помощью ИМО-2 и составляла $\sim 0,8$ Дж. При измерении углового распределения излучения Вавилова – Черенкова применялись специальные рупорные антенны, а регистрация СВЧ излучения производилась диодом Д407.

Высокоомный кристалл ($\rho > 10^8$ Ом · 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). Поэтому стандартным волноводным методом⁵ был измерен коэффициент поглощения α образца, и на длине волны 5,6 мм он составлял $0,2 \text{ см}^{-1}$. Нами использовались кристаллы длиной $L = 1/\alpha = 5; 6 \text{ см}$. Для вывода черенковского излучения выходной торец кристалла был срезан под углом $90^\circ - \theta_0 = 68^\circ$.

Измерения показали, что при радиусе лазерного пучка $r = r_0 = 1,3 \text{ мм}$ мощность излучения на разностной частоте идет по черенковскому конусу и угловая ширина (по уровню 0,5) составляет $\sim 10^\circ$. Максимальная мощность при этом составляет $\sim 30 \text{ мВт}$, что почти на порядок меньше теоретической оценки по работе⁴, если величина нелинейной восприимчивости GaAs принять равной $\chi = 3 \cdot 10^{-6}$ СГСЭ⁶. Такое расхождение может быть объяснено ошибкой значения χ , а также отличием формы лазерных пучков от гауссовой.

Численные расчеты для углового распределения излучения на разностной частоте по результатам работы⁴ показывают, что оно имеет лепестковую структуру, которая нами не регистрировалась (см. рис. 2).

Дальнейшие более детальные исследования этого явления могут найти целый ряд применений, таких как определение параметров нелинейных кристаллов и характеристик самих лазеров, а также для получения новых типов источников миллиметрового диапазона.

Авторы выражают благодарность М.Л.Тер-Микаеляну за ценные обсуждения.

Литература

1. Франк И.М. Изв. АН СССР, серия физическая, 1942, 6, 3.
2. Гинзбург В.Л. УФН, 1959, 69, 537.
3. Аскарьян Г.А. ЖЭТФ, 1962, 42, 1360, 1963, 45, 643.
4. Абдуллин С.П., Ляхов Г.А., Руденко О.В., Чиркин А.С. ЖЭТФ; 1974, 66, 1295.
5. Брандт А.А. Исследование диэлектриков на СВЧ, М., 1963.
6. Chang T.Y., Van Tran N., Patel C.K.N. Appl. Phys. Lett., 1968, 10, 357.