

УДК 681.7.013

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ НЕЛИНЕЙНОЙ ПЛАСТИНЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ, ВОЗБУЖДАЕМОГО ВОЛНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

А. Х. НАЗАРЯН, Э. С. САРКИСЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 5 июля 1985 г.)

Рассмотрено излучение, вызванное волной нелинейной поляризации в диэлектрической пластине конечных размеров. Получена угловая зависимость электромагнитного излучения и выяснено существенное влияние на нее ориентации тонкой нелинейной пластины относительно поляризации возбуждающего электрического поля. Диэлектрическая проницаемость окружающей среды определяет порог возникновения черенковского излучения и оказывает большое влияние на мощность этого излучения. Связь между мощностью излучения нелинейной тонкой пластины и диэлектрической проницаемостью окружающей среды является достаточно простой и может быть использована при экспериментальном исследовании.

Действие мощного лазерного излучения на нелинейные материалы приводит к возбуждению волны нелинейной поляризации и обусловленному им излучению на комбинационных частотах. Этим явлениям посвящено большое число теоретических и экспериментальных исследований, однако вопросы, связанные с геометрической формой нелинейного материала, рассмотрены недостаточно подробно. В реальных условиях облучаемый образец имеет конечные размеры, и это в ряде случаев оказывает определяющее влияние на условия возбуждения и характер излучения электромагнитных волн.

В отличие от работы [1], в которой нелинейный материал предполагается бесконечным, в настоящей работе изучено влияние размеров нелинейного кристалла, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда и находящегося в поле лазерного излучения, на диаграмму направленности и мощность излучения разностной частоты. Показано, что при неудачном выборе ориентации кристалла эффективность излучения значительно снижается.

Рассмотрим нелинейную диэлектрическую пластину, имеющую размеры $2a$, $2b$, $2L$, в которой возбужден нелинейный ток поляризации с плотностью

$$j_{ct}^{NL} = e_x j_{ct}^{NL}(x, y) e^{ik_0 z},$$

где e_x — единичный орт, соответствующий координате x . Обозначим диэлектрическую проницаемость кристалла через $\epsilon_{кр}$, а окружающей среды — $\epsilon_{ср}$.

Будем исходить из общеизвестного выражения для комплексной амплитуды напряженности электрического поля в дальней зоне, записанного в сферических координатах r, ϑ, φ [2]:

$$\mathbf{E}'(r, \vartheta, \varphi) = -i\mu_0\omega \frac{e^{ikr}}{4\pi r} \mathbf{e}_\vartheta \sin \vartheta \int_{-L}^L dz' \int_{-a}^a dx' \int_{-b}^b dy' j_{\text{ср}}^{NL}(x', y') \times \\ \times \exp\{-ikx' \cos \vartheta -iky' \sin \vartheta \sin \varphi - iz'(k \sin \vartheta \cos \varphi - k_0)\}, \quad (1)$$

где ω — частота, \mathbf{e}_ϑ — единичный орт, соответствующий сферической координате ϑ , $k = \omega \sqrt{\varepsilon_{\text{ср}}} / c$ — волновое число, а связь между сферическими и декартовыми координатами определяется следующим образом:

$$x = r \cos \vartheta, \quad y = r \sin \vartheta \sin \varphi, \quad z = r \sin \vartheta \cos \varphi.$$

Выражение (1) записано в предположении, что $\varepsilon_{\text{кр}} = \varepsilon_{\text{ср}}$, и соответствует излучению сторонних токов в однородной, бесконечной среде. $\mathbf{E}'(r, \vartheta, \varphi)$ является вспомогательной величиной при отыскании интересующей нас напряженности электрического поля при $\varepsilon_{\text{кр}} \neq \varepsilon_{\text{ср}}$.

Используем формулу (1) в двух конкретных случаях:

а) $ka \ll 1, j_{\text{ср}}^{NL}(x', y') = j_0^{NL} e^{-\frac{x'^2}{a^2}},$

$$\mathbf{E}'(r, \vartheta, \varphi) = -i\mu_0\omega j_0^{NL} \frac{e^{ikr}}{\sqrt{\pi} r} \mathbf{e}_\vartheta \sin \vartheta \frac{\sin(kb \sin \vartheta \sin \varphi)}{k \sin \vartheta \sin \varphi} \times \\ \times d\Phi \left(\frac{a}{d} \right) \frac{\sin L(k \sin \vartheta \cos \varphi - k_0)}{k \sin \vartheta \cos \varphi - k_0}; \quad (2)$$

б) $kb \ll 1, j_{\text{ср}}^{NL}(x, y) = j_0^{NL} e^{-\frac{y'^2}{b^2}},$

$$\mathbf{E}'(r, \vartheta, \varphi) = -i\mu_0\omega j_0^{NL} \frac{e^{ikr}}{\sqrt{\pi} r} \mathbf{e}_\vartheta \sin \vartheta \frac{\sin(ka \cos \vartheta)}{k \cos \vartheta} \times \\ \times d\Phi \left(\frac{b}{d} \right) \frac{\sin L(k \sin \vartheta \cos \varphi - k_0)}{k \sin \vartheta \cos \varphi - k_0}. \quad (3)$$

Здесь Φ — функция распределения вероятностей:

$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-u^2} du.$$

В формулах (1)–(3) предполагается, что излучение, возбужденное внутри нелинейного материала, распространяется до наблюдаемой точки с неизменной скоростью $c / \sqrt{\varepsilon_{\text{ср}}}$. Такое предположение недопустимо в случае $\varepsilon_{\text{кр}} \neq \varepsilon_{\text{ср}}$. Чтобы получить выражение для напряженности электрического поля излучения в интересующем нас случае $\varepsilon_{\text{кр}} \neq \varepsilon_{\text{ср}}$ воспользуемся методом, изложенным в работе [3]. Используя теорему взаимности

$$\int_{v_1} j_{\text{ср}1} \mathbf{E}_2 dv = \int_{v_2} j_{\text{ср}2} \mathbf{E}_1 dv$$



применительно к нашей задаче, получим следующие выражения в двух рассмотренных выше случаях:

$$a) \quad E(r, \vartheta, \varphi) = \frac{\epsilon_{\text{ср}}}{\epsilon_{\text{кр}}} E'(r, \vartheta, \varphi); \quad (4)$$

$$б) \quad E(r, \vartheta, \varphi) = E'(r, \vartheta, \varphi). \quad (5)$$

Выражения (4) и (5) показывают, что учет диэлектрической проницаемости нелинейной пластины не изменяет диаграмму направленности, но существенно влияет на мощность излучения. Если вектор нелинейной поляризации параллелен широкой стенке пластины (случай б), то характеристики излучения не зависят от диэлектрической проницаемости $\epsilon_{\text{кр}}$ нелинейного материала. В случае а, когда вектор нелинейной поляризации перпендикулярен к широкой стенке пластины, определяющее значение имеет отношение $\epsilon_{\text{ср}}/\epsilon_{\text{кр}}$.

Эти результаты могут иметь практическое значение в экспериментальных исследованиях по генерации разностной частоты в области миллиметрового диапазона.

В ряде экспериментов нелинейный ток поляризации в кристалле создается с помощью сгустка световых волн. Порог генерирования черенковского излучения определяется условием $\epsilon_{\text{ср}} > \epsilon_0$, где ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость кристалла в оптическом диапазоне длин волн. Приведем численные оценки для часто используемого нелинейного кристалла $LiNbO_3$. Диэлектрическая проницаемость в оптическом диапазоне длин волн $\epsilon_0 \sim 6$, а в диапазоне миллиметровых длин волн $\epsilon_{\text{кр}} \sim 50$. Следовательно, отношение $\epsilon_{\text{кр}}/\epsilon_{\text{ср}} < 8$ и мощность черенковского излучения в случаях а и б, как следует из формул (4) и (5), может отличаться друг от друга в 60 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Погосян П. С., Нерсесян М. Н., Саркисян Э. С. Изв. АН АрмССР, Физика, 19, 192 (1984).
2. Никольский В. В. Электродинамика и распространение радиоволн. Изд. Наука, М., 1978.
3. Гинзбург В. Л., Эйджман В. Я. ЖЭТФ, 35, 1507 (1958).

ՈՉ ԳՄԱՅԻՆ ԹԻԹԵՂԻ ՉԱՓՍԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՈՉ ԳՄԱՅԻՆ
ԲԵՎԵՌՆԱՅՄԱՆ ԱՆԻՔԻՑ ԱՌԱՋԱՑԱՄ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ
ԷՅԵԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ա. Խ. ՆԱԶԱՐՅԱՆ, Է. Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

Դիտարկված է վերջավոր չափսերով դիէլեկտրիկ թիթեղում ոչ գծային բևեռացման ալիքից առաջացած ճառագայթումը: Ստացված է էլեկտրամագնիսական ճառագայթման հորրոթյան անկյունային կախվածությունը և պարզաբանված է զրգռող էլեկտրական դաշտի բևեռացման նկատմամբ բարակ ոչ գծային թիթեղի կողմնորոշման էական նշանակությունը: Ստացված է պարզ կապ ոչ գծային բարակ թիթեղից ճառագայթման հորրոթյան և շրջապատող միջավայրի դիէլեկտրիկ թափանցելիության միջև:

THE INFLUENCE OF NONLINEAR PLATE DIMENSIONS ON THE EFFICIENCY OF RADIATION INDUCED BY NONLINEARLY POLARIZED WAVE

A. KH. NAZARYAN, E. S. SARKISYAN

The radiation induced by nonlinearly polarized wave in a dielectric plate of finite dimensions is considered. The angular dependence of the electromagnetic radiation is obtained and the significance of the orientation of thin nonlinear plate with respect to the direction of exciting electric field polarization is discussed. The dielectric permittivity of surrounding medium determines the threshold of Cherenkov radiation and strongly influences the radiation power. The relation between the radiation power of the thin nonlinear plate and the dielectric permittivity of surrounding medium is obtained to be sufficiently simple for experimental investigation.