

УДК 548.0

ДИФРАКЦИОННОЕ ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА НА ЕСТЕСТВЕННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЯХ КРИСТАЛЛА С ОТКРЫТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ВОЛНОВЫХ ВЕКТОРОВ

О.М. АРАКЕЛЯН

Ереванский государственный университет, Армения

(Поступила в редакцию 5 августа 2007 г.)

Приведены формы поверхности волновых векторов (ПВВ) для необыкновенной волны при учете и без учета поглощения. Исследовано нормальное прохождение света через плоскопараллельный слой кристалла с открытой поверхностью волновых векторов. Рассмотрено дифракционное отражение света на естественных периодических неоднородностях кристалла. Проведен расчет частотной зависимости коэффициента отражения.

1. Введение

Традиционная оптика имеет дело со средами, у которых все компоненты диэлектрического тензора ϵ положительны. Поверхность волновых векторов (ПВВ), поверхность Френеля, характеристические поверхности тензоров ϵ_{ij} и ϵ_{ij}^{-1} (все они замкнуты [1,2].

Впервые в [3,4], а затем в [5-7] были рассмотрены среды, у которых вышеуказанные поверхности оказываются не замкнутыми, как в традиционной оптике, а открытыми, а именно (гиперболоидом вращения. Открытыми ПВВ описываются те одноосные кристаллы, у которых одна из компонент диэлектрического тензора ϵ отрицательна. Наличие отрицательной компоненты не исключает возможности распространения волн без затухания, а ограничивает область направлений, в которых незатухающая необыкновенная волна может распространяться.

В случае одноосного кристалла ПВВ для необыкновенной волны являются однополостным или двухполостным гиперболоидом вращения, в зависимости от того, отрицательна или положительна диэлектрическая проницаемость в направлении, параллельном оптической оси кристалла.

Превращение ПВВ в гиперболоид приводит к тому, что с приближением направления распространения излучения к направлениям асимптот ПВВ модуль волнового вектора необыкновенной волны стремится к бесконечности, а длина волны (λ) к нулю. Последнее дает возможность рассмотреть дифракционное отражение на естественных периодических неоднородностях кристалла.

Ниже, во втором разделе, приведены формы ПВВ для необыкновенной волны (т.е. зависимости модуля волнового вектора необыкновенной волны от направления распространения) при учете и без учета поглощения. В следующем, третьем разделе рассмотрено дифракционное отражение оптического излучения на естественных периодических неоднородностях кристалла. Приведены графики частотной зависимости коэффициента отражения при нормальном падении света для сред с открытой ПВВ при разных значениях параметров среды.

2. О возможности дифракционного отражения света на периодических неоднородностях кристалла

Возможность дифракционного отражения на естественных периодических неоднородностях на световых частотах следует из выражения для k_e , которое имеет вид

$$k_e = \frac{\omega/c}{\sqrt{\frac{\cos^2 \theta}{\epsilon_{\perp}} - \frac{\sin^2 \theta}{|\epsilon_{\parallel}|}}}, \quad (1)$$

согласно которому, с приближением θ к θ_0 имеем $k_e \rightarrow \infty$ (т.е. $\lambda_e \rightarrow 0$), где

$$\theta_0 = \arctan \sqrt{\frac{\epsilon_{\parallel}}{\epsilon_{\perp}}}, \quad (2)$$

λ_e - длина необыкновенной волны, $\epsilon_{\parallel}$ и $\epsilon_{\perp}$ - компоненты тензора ϵ в направлениях, соответственно, параллельном ($\epsilon_{\parallel}$) и перпендикулярном ($\epsilon_{\perp}$) оптической оси.

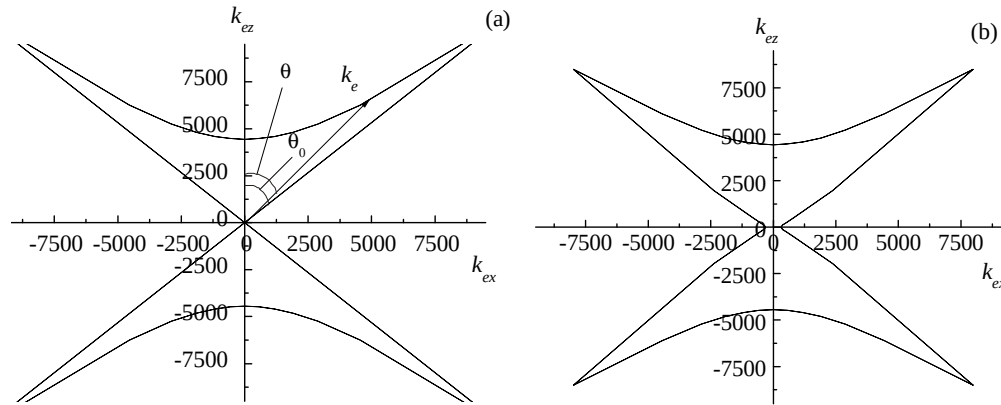


Рис.1. Зависимость k_{ex} , k_{ez} от θ (при $\epsilon'' = \epsilon''_{\perp} = 0$, $\epsilon'_{\perp} = 7.46609$, $\epsilon'' = (2.14117$ (а) и при $\epsilon'' = 0.998277$, $\epsilon''_{\perp} = 0.297372$, $\epsilon'_{\perp} = 6.86292$, $\epsilon' = (7.30933$ (б)).

На рис.1 приведены формы ПВВ в случаях $\epsilon''_{\perp} = 0$ (рис.1а) и $\epsilon''_{\perp} \neq 0$ (рис.1б). Параметры среды имеют следующие значения: $\epsilon'_{\perp} = 7.46609$, $\epsilon' = -2.14117$, $\epsilon'' = \epsilon''_{\perp} = 0$ для рис.1а и $\epsilon'_{\perp} = 6.86292$, $\epsilon' = -7.30933$, $\epsilon'' = 0.998277$, $\epsilon''_{\perp} = 0.297372$ для рис.1б. Хотя при учете поглощения ПВВ не является гиперboloидом, а замыкается около асимптот,

имеющихся в отсутствие поглощения, тем не менее вогнутый характер, присущий гиперболоиду, остается (поэтому среду называем средой с открытой ПВВ также тогда, когда ПВВ хотя и замкнута, но имеет вогнутые области).

При учете поглощения длина волны, оставаясь ограниченной снизу и волновой вектор (сверху), может принимать достаточно малые значения (длина волн световых частот в кристалле имеет значения порядка ангстрема), обеспечивающие дифракционное отражение на естественных периодических неоднородностях кристалла.

Кристаллы, у которых тензор ϵ_{ij} имеет как положительные, так и отрицательные компоненты, существуют в природе. Такими материалами являются, например, кристаллы MgF_2 и TiO_2 [8]. Отметим также, что в последнее время уделяется большое внимание получению искусственных сред с отрицательными электромагнитными параметрами [9].

3. Результаты численного расчета

Коэффициент отражения рассчитан нами при нормальном падении света. Ось z нормальна к границам и совпадает с одной из асимптот ПВВ. Нами проведен расчет дифракционного отражения при следующих параметрах кристалла. Для рис.2 магнитная проницаемость $\mu = 1$, а компоненты тензора диэлектрической проницаемости меняются по закону $\epsilon_{\parallel} = \epsilon_{0z} + \epsilon_{1z} \cos bz$, $\epsilon_{\perp} = \epsilon_{0x} + \epsilon_{1x} \cos bz$, где $\epsilon_{0z} = -7.31932$, $\epsilon_{0x} = 6.86292$, $\epsilon_{1z} = \epsilon_{1x} = 0.01$, $b = 2 \text{ E}^{-1}$, толщина слоя кристалла $d = 0.411775 \text{ мм}$, угол между оптической осью и осью z $\varphi = 0.8007858$. Длина волны в кристалле λ меняется от $1 \text{ \AA}$ до $15 \text{ \AA}$. Интервалы частоты падающей волны показаны на графиках. Для рис.3а $\mu = 500$, $\varphi = 0.801106043$, а для рис.3б $\mu = 700$, остальные параметры те же, что и для рис.2.

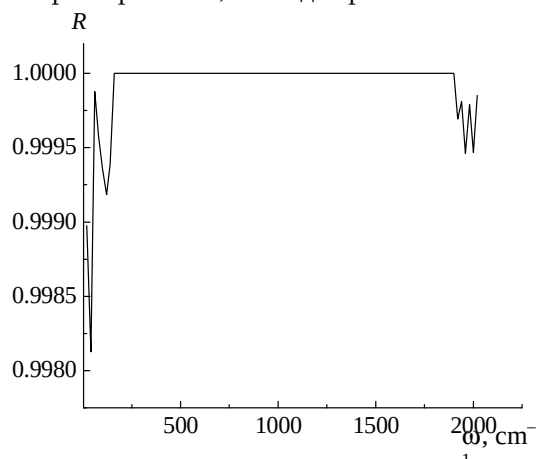


Рис.2. Частотная зависимость энергетического коэффициента отражения R при $\mu = 1$, толщина слоя $d = 0.411775 \text{ мм}$, остальные параметры приведены в тексте.

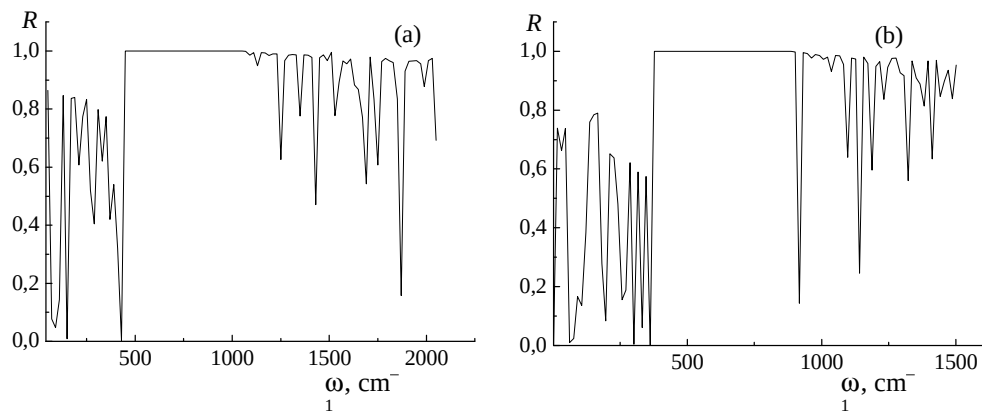


Рис.3. Та же зависимость, что и на рис.2, при $\mu = 500$ (a) и $\mu = 700$ (b).

Как видно из рисунков, коэффициент отражения осциллирует с высокими пиками, близкими к 1, из-за больших значений диэлектрической проницаемости, имеющей вид

$$\tilde{\epsilon} = \frac{1}{\frac{\cos^2 \theta}{\epsilon_{\perp}} - \frac{\sin^2 \theta}{|\epsilon|}}. \quad (3)$$

С приближением θ к θ_0 $\tilde{\epsilon}$ принимает большие значения, приводящие к большим значениям R . Область дифракционного отражения - это область отсутствия осцилляций, с сохранением значения R , равного 1.

При больших значениях μ ($\mu \sim \tilde{\epsilon}$) уровень осцилляций уменьшается. Это можно объяснить поведением амплитудного коэффициента

$$r = \frac{1 - \sqrt{\frac{\tilde{\epsilon}}{\mu}}}{1 + \sqrt{\frac{\tilde{\epsilon}}{\mu}}} \quad (4)$$

при $\mu \sim \tilde{\epsilon}$.

Автор благодарен проф. О.С.Ерицану за постоянное внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ф.И.Федоров.** Оптика анизотропных сред. Минск, изд. АН БССР, 1958.
2. **Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц.** Электродинамика сплошных сред. М., Наука, 1982.
3. **О.С.Ерицян.** Кристаллография, **33**, 461 (1978).
4. **О.С.Ерицян.** Оптика гиротропных сред и холестерических жидких кристаллов. Ереван, Айастан, 1988.
5. **О.С.Ерицян, О.М.Аракелян.** Изв. НАН Армении, Физика, **38**, 312 (2003).
6. **О.С.Ерицян.** Кристаллография, **50**, 511 (2005).
7. **О.С.Ерицян, А.А.Папоян, О.М.Аракелян, А.А.Лалаян, Р.Б.Костанян.** Изв. НАН Армении, **41**, 178 (2006).
8. **В.В.Брыксин, Д.Н.Мирлин, И.И.Решина.** ФТТ, **15**, 1118 (1973).
9. **J.V.Pendry.** Physics World, 2000, June, p.27.

ԲԱՅ ԱԼԻՔԱՅԻՆ ՎԵԿՏՈՐՆԵՐԻ ՄԱԿԵՐՆԵՎՈՒՅԹՈՎ ԲՅՈՒՐԵՂԻ
ԲՆԱԿԱՆ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ԱՆՀԱՄԱՍԵՌՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ
ԼՈՒՅՄԻ ԴԻՖՐԱԿՅԻՈՆ ԱՆԴՐԱԴԱՐՁՈՒՄԸ

Հ.Մ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ

Բերված է ալիքային վեկտորների մակերևույթների տեսքը անսովոր ալիքի համար, կլանման առկայության և բացակայության դեպքում: Քննարկված է լույսի նորմալ անցման խնդիրը բյուրեղի հարթ զուգահեռ շերտով, որի ալիքային վեկտորների մակերևույթը բաց է: Քննարկված է լույսի դիֆրակցիոն անդրադարձումը բյուրեղի բնական պարբերական անհամասեռությունների վրա: Հաշվարկված է անդրադարձման գործակցի կախումը հաճախությունից:

DIFFRACTION REFLECTION OF LIGHT
ON NATURAL PERIODIC INHOMOGENEITIES OF A CRYSTAL
WITH OPEN SURFACE OF WAVE VECTORS

H.M. ARAKELYAN

The forms of the surface of wave vectors for an extraordinary wave in the presence and absence of absorption are presented. The normal light transmission through a plane-parallel layer of a crystal with an open surface of wave vectors is considered. The diffraction reflection of light on natural periodic inhomogeneities of a crystal is studied. The frequency dependence of the reflection coefficient is calculated.