

УДК 548.0

КРУГОВОЙ И ЛИНЕЙНЫЙ ДИХРОИЗМЫ СПИРАЛЬНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СРЕД С БОЛЬШОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

О.М. АРАКЕЛЯН, А.А. ГЕВОРГЯН, О.С. ЕРИЦЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 20 ноября 1999 г.)

Рассмотрено взаимодействие света со слоем среды со спиральной периодической структурой. Изучены особенности кругового и линейного дихроизмов при большой локальной диэлектрической анизотропии. Исследовано также влияние диэлектрических границ на круговой и линейный дихроизмы.

Введение

Известно точное аналитическое решение уравнений Максвелла для сред со спиральной структурой [1-6]. Оптика сред со спиральной структурой со слабой диэлектрической анизотропией достаточно хорошо развита. В [7] начато построение оптики сред со спиральной структурой с большой анизотропией. Рассмотрены особенности собственных мод, решена граничная задача для полупространства. Показано, в частности, что спиральные периодические среды (СПС) с большой анизотропией теряют свойства селективности по отношению к круговым поляризациям.

В эксперименте часто измеряют величину кругового дихроизма $D_C = (T^- - T^+) / (T^- + T^+)$ и величину линейного дихроизма $D_L = (T^y - T^x) / (T^y + T^x)$ (T^-, T^+ – коэффициенты прохождения при падении на слой света с левой и правой круговой поляризациями, а T^x, T^y – света с линейными вдоль направления директора и в перпендикулярном направлении поляризациями, соответственно). Поэтому важное значение имеет также исследование особенностей кругового и линейного дихроизмов СПС с огромной анизотропией. Так как известно точное аналитическое решение граничной задачи прохождения света через слой СПС [8], то при вычислении оптических параметров (кругового и линейного дихроизмов) среды с большой

анизотропией можно пользоваться некоторыми результатами этой работы. При этом мы будем считать главные значения тензора диэлектрической проницаемости постоянными, т.е. не зависящими от частоты, с целью представления в наиболее чистом виде эффектов, связанных только с большими значениями анизотропии. Так как СПС можно создать также искусственно [9,10] то получение и использование сред с описанными в данной работе особенностями вполне реально.

Особенности кругового и линейного дихроизмов

Рассмотрим нормальное падение света на планарный слой СПС с осью, перпендикулярной к граничным поверхностям. Будем предполагать, что диэлектрическая проницаемость среды, граничащей с обеих сторон со слоем СПС, равна средней диэлектрической проницаемости слоя ε_m . Согласно [8], для кругового дихроизма получаем:

$$D_C = [h_2 a_1 + h_1 a_2]^2 - [h_1 a_1 + h_2 a_2]^2 / [h_2 a_1 + h_1 a_2]^2 + 2|\delta|^2 |a_1 - a_2|^2 + [h_1 a_1 + h_2 a_2]^2], \quad (1)$$

где $h_{1,2} = \gamma \pm 2\chi$, $a_{1,2} = \cos(k_{1,2}d) \mp i u l_{1,2} \sin(k_{1,2}d) / (k_{1,2}d)$, $l_{1,2} = \gamma \pm 2$, $k_{1,2} = 2ub_{1,2}/d$, $b_{1,2} = \sqrt{1 + \chi \pm \gamma}$, $\gamma = \sqrt{4\chi^2 + \delta^2}$, $u = \pi d \sqrt{\varepsilon_m} / \lambda$, $\chi = \lambda / (\sqrt{\varepsilon_m} \sigma)$, $\varepsilon_m = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)/2$, $\delta = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) / (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)$, $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ — главные значения тензора диэлектрической проницаемости в плоскости, перпендикулярной к оси среды, σ — шаг спирали, λ — длина волны в вакууме, d — толщина слоя.

Для линейного дихроизма будем иметь:

$$D_L = 2\text{Re}[\gamma \delta^* (a_1 + a_2)(a_1 - a_2)^*] / [|\chi|^2 |a_1 - a_2|^2 + (|\delta|^2 + 4|\chi|^2) |a_1 - a_2|^2]. \quad (2)$$

Звездочками обозначены комплексно сопряженные соответствующих величин. Соответствующие выражения для кругового и линейного дихроизмов в случае $\alpha = \varepsilon_m / \varepsilon \neq 1$ (ε — диэлектрическая проницаемость среды, граничащей с обеих сторон со слоем СПС) очень громоздки и поэтому мы их не приводим.

При слабой анизотропии ($\delta \ll 1$) круговой дихроизм СПС практически равен единице в области дифракционного отражения (ОДО) и, осциллируя, уменьшается вне этой области. Большая анизотропия существенно влияет на круговой дихроизм. С увеличением анизотропии δ круговой дихроизм в ОДО уменьшается и стремится к нулю в пределе $\delta \gg 1$. При этом нужно отметить, что в случае $\delta \geq 1$ уравнение $b_2 = 0$ (из которого определяются границы ОДО $\lambda_{1,2} = \sigma \sqrt{1 \pm \delta}$) имеет только одно решение $\lambda = \lambda_2 = \sigma \sqrt{1 + \delta}$. А это означает, что ОДО в этом случае простирается от длины волны $\lambda = 0$ до $\lambda = \lambda_2$. На рис. 1а представлена зависимость кругового дихроизма (сплошная кривая) от длины волны в случае большой анизотропии.

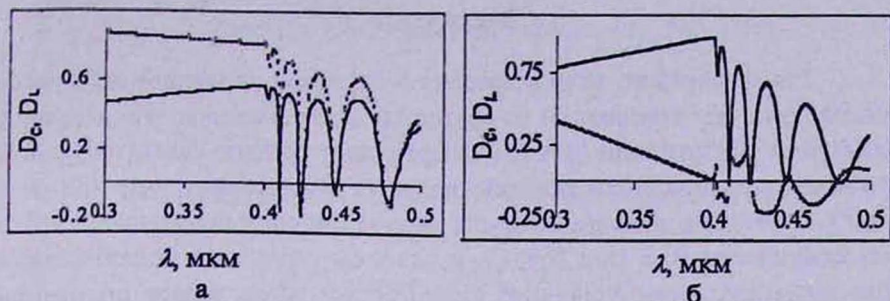


Рис.1. Зависимость D_C и D_L от λ при $\varepsilon = \varepsilon_m$ (а) и при $\varepsilon = 1$ (б). $\varepsilon_m = 0.1$, $\delta = 9$, $\sigma = 0.4$ мкм, $d = 5\sigma$.

СПС со слабой анизотропией ($\delta \ll 1$) не проявляют линейного дихроизма. Увеличение анизотропии δ приводит к появлению линейного дихроизма в ОДО. С увеличением δ линейный дихроизм увеличивается и в пределе $\delta \gg 1$ он стремится к единице в ОДО. Вне ОДО он уменьшается, осциллируя. На рис.1а показана зависимость линейного дихроизма D_L (штриховая линия) от длины волны в случае большой анизотропии.

На эти зависимости существенно влияет также наличие диэлектрических границ. При значительном отличии ε от ε_m картина может существенно меняться. Для демонстрации влияния диэлектрических границ на поведение D_C и D_L на рис.1б представлены зависимости этих величин от длины волны при $\varepsilon=1$ (слой находится в вакууме).

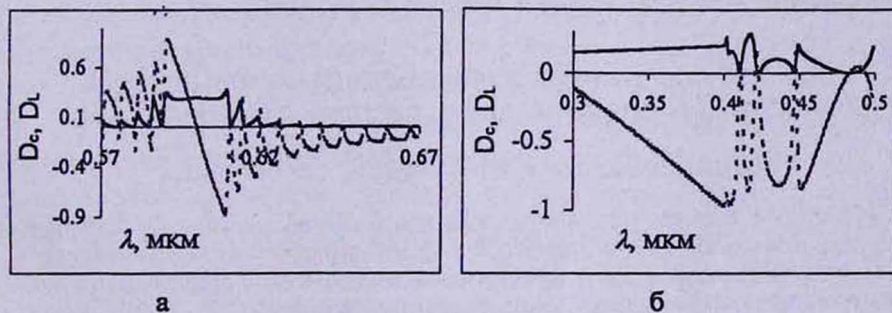


Рис.2. Зависимость D_C и D_L от λ при $\varepsilon_m = 2.25$, $\delta = 0.03$, $d = 50\sigma$ (а) и при $\varepsilon_m = 0.1$, $\delta = 9$, $d = 5\sigma$ (б). $\varepsilon = 100$, $\sigma = 0.4$ мкм.

На рис.2 представлены зависимости D_C и D_L от длины волны при слабой анизотропии (а) и при большой анизотропии (б) в случае, когда ε_m и ε отличаются друг от друга во много раз. Анализ представленных результатов показывает, что наличие диэлектрических границ (отличие ε от единицы) тоже приводит к появлению линейного дихроизма.

Заклучение

Таким образом, если в пределе $\delta \ll 1$ среда проявляет полную селективность по отношению к круговым поляризациям, то в пределе громадной анизотропии ($\delta \gg 1$) она проявляет полную селективность по отношению к линейным поляризациям. А это означает, что при $\delta \ll 1$ слой СПС можно использовать для получения светового пучка с круговой поляризацией, а при $\delta \gg 1$ – в качестве линейных поляризаторов. При промежуточных значениях анизотропии среда теряет полную селективность как по отношению к круговым поляризациям, так и по отношению к линейным поляризациям. Аналогичным образом, если в пределе $\alpha = 1$ среда проявляет полную селективность по отношению к круговым поляризациям, то в пределах $\alpha \ll 1$ и $\alpha \gg 1$ она проявляет полную селективность по отношению к линейным поляризациям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hl.de Vries. Acta Cryst., 4, 219 (1951).
2. Е.И.Кац. ЖЭТФ, 59, 1854 (1970).
3. В.Н.Белый, А.Н.Сердюков. Докл. АН БССР, 18, 402 (1974).
4. В.А.Беляков. Дифракционная оптика периодических сред сложной структуры. М., Наука, 1988.
5. С.Чандрасекар. Жидкие кристаллы. М., Мир, 1980.
6. О.С.Ерицян. Оптика гиротропных сред и холестерических жидких кристаллов. Ереван, Айастан, 1988.
7. Г.А.Варданян, А.А.Геворгян и др. Кристаллография, 43, 793 (1998).
8. Г.А.Варданян, А.А.Геворгян. Кристаллография, 42, 723 (1997).
9. Г.Герритсен, Р.Ямагучи. УФН, 107, 705 (1972).
10. О.С.Ерицян. Изв. НАН Армении, Физика, 33, 115 (1998).

ՄԵԾ ԱՆԻՉՈՏՐՈՊԻԱՅՈՎ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ՊԱՐՈՒՐԱՅԻՆ
ՄԻՋԱՎԱՅՐԵՐԻ ԸՐՋԱՆԱՅԻՆ ԵՎ ԳԾԱՅԻՆ ԴԻԲՐՈՒՋՄՆԵՐԸ

Հ.Մ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Ա.Հ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Հ.Ս. ԵՐԻՅԱՆ

Զննարկված է լույսի փոխազդեցությունը պարբերական պարուրային միջավայրի շերտի հետ: Ուսումնասիրված են շրջանային և գծային դիբրոիզմների առանձնահատկությունները մեծ անիզոտրոպիայի դեպքում: Ուսումնասիրված է մակ դիէլեկտրական սահմանների ազդեցությունը շրջանային և գծային դիբրոիզմների վրա:

CIRCULAR AND LINEAR DICHROISMS OF PERIODICAL HELICAL MEDIA WITH LARGE DIELECTRIC ANISOTROPY

H.M. ARAKELIAN, A.H. GEVORGYAN, H.S. ERITSYAN

The interaction of light with a layer of periodical helical media is considered. Features of circular and linear dichroisms at large dielectric anisotropy are studied. Influence of dielectric boundaries on circular and linear dichroisms is investigated.