УДК 548.0

О МЕТОДЕ ПОДАВЛЕНИЯ ДИФРАКЦИОННЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ ВБЛИЗИ ОБЛАСТИ ДИФРАКЦИОННОГО ОТРАЖЕНИЯ

А.А. ГЕВОРГЯН

Ереванский государственный университет, Армения

(Поступила в редакцию 26 октября 2008 г.)

Рассмотрено распространение света через слой хирального фотонного кристалла с градиентными параметрами модуляции при наклонном падении. Задача решена методом сложения слоев Амбарцумяна. Показано, что при определенных условиях можно подавить дифракционные осцилляции вблизи области дифракционного отражения.

В последнее время большой интерес вызывают фотонные кристаллы (Φ K) [1-3] - особый класс искусственных (а также самоорганизующихся) структур с периодическим изменением диэлектрических свойств в пространственном масштабе порядка оптической длины волны. Интерес к Φ K обусловлен как их интересными физическими свойствами, так и их широким применением. Поскольку эти структуры создаются в основном искусственно, они могут быть созданы с наперед заданными свойствами, что приводит к постановке многочисленных задач теоретического и прикладного характера. Устройства на основе Φ K отличаются такими свойствами, как малые размеры, малые потери, высокая надежность, совместимость с другими устройствами и т.д.

Большой интерес вызывают как идеально периодические ФК и квазикристаллы, так и ФК с дефектом в структуре и ФК с градиентными параметрами модуляции. Интерес к исследованию градиентных структур обусловлен рядом обстоятельств. В градиентных ФК наблюдается так называемое всенаправленное отражение (omnidirectional reflection). Эти системы обладают особенностями поглощения (излучения).

При взаимодействии света с конечным слоем ФК действуют два механизма дифракции: один – обусловленный дифракцией света на периодической структуре ФК и проявляющийся в образовании областей дифракционного отражения (ОДО), и другой – обусловленный дифракцией света в ограниченном объеме (из-за ограниченности объема, занятого слоем ФК) и проявляющийся в образовании дифракционных осцилляций типа маятниковых биений (хорошо известных в дифракции рентгеновских лучей) вблизи ОДО. Следует четко отличать эти осцилляции от интерференционных осцилляций при наличии диэлектрических границ, которые наблюдаются также при прохождении света через слой однородной среды. Они имеют разные периоды, как по частоте, так и по толщине. Осцилляции дифракционного происхождения наблюдаются также при минимальном влиянии диэлектрических границ, т.е. при $\overline{\epsilon} = \epsilon_s$ ($\overline{\epsilon}$ -средняя диэлектрическая проницаемость ФК, а ϵ_s - диэлектрическая проницаемость среды, ограничивающей с обеих сторон слой ФК), тогда как интерференционные осцилляции от диэлектрических границ в этом случае не наблюдаются.

Отметим, что при определенных условиях эти осцилляции могут иметь применения, однако в большинстве случаев они выполняют роль шума. Поэтому важной задачей может стать разработка методов подавления этих дифракционных осцилляций. Эти осцилляции не наблюдаются при отражении света от полупространства, заполненного ΦK , а также при отражении от толстых слоев ΦK при наличии значительного поглощения. Так как эти осцилляции обусловлены дифракцией света в ограниченном объеме, их можно подавлять, исключая влияние одной из границ слоя ΦK , что и продемонстрировано нами ниже.

Рассмотрим отражение и пропускание света через конечный слой изотропного одномерного периодически модулированного кристалла. Пусть слой среды занимает пространство между плоскостями z = 0 и z = d (d – толщина слоя). Ось модуляции совпадает с осью z. Здесь мы будем предполагать следующий закон изменения диэлектрической проницаемости среды:

$$\varepsilon(z) = \varepsilon_0 + a(z)\cos(2\pi z/\sigma), \qquad (1)$$

где a(z) - глубина модуляции, σ - пространственный период модуляции. Отметим, что такая модуляция может быть создана, например, сильным световым или ультразвуковым полем в поглощающей среде, находящейся в тепловом градиентном поле или в электрическом поле, а также непосредственно молекулярно-лучевой эпитаксией, магнетронным напылением, голографическим записывающим устройством или электрохимическим травлением. Численные расчеты будем проводить по следующей схеме. Слой среды толщиной dразобьем на большое число тонких слоев с толщиной d_1 , d_2 , d_3 ,..., d_N . Если их максимальная толщина достаточно мала, то можно считать, что параметры слоя постоянны в каждом слое. Эти слои будем сшивать методом сложения слоев Амбарцумяна [4,5].

На рис.1–4 представлены спектры отражения (а) и профили диэлектрической проницаемости (b) при a(z) = const (рис.1 и 2), при $a(z) = = \left(\left(a_{\max} - a_{\min}\right)/d\right)z + a_{\min}$ (рис.3 и 4) и в случаях минимального влияния диэлектрических границ (т.е. при $\varepsilon_s = \varepsilon_0$; рис.1 и 3) и $\varepsilon_s = 1$ (рис.2 и 4). Как видно из представленных результатов, в случае наличия градиента глубины моду-ляции происходит некоторое уширение ОДО. Это обусловлено тем, что проис-ходит изменение эффективных коэффициентов преломления.

Здесь наблюдается интересный эффект, а именно, в случае $a_{\min} = 0$ $(a_{\max} \neq 0)$ боковые к ОДО осцилляции отсутствуют. Они отсутствуют также при $a_{\max} = 0$ $(a_{\min} \neq 0)$.В данных случаях эти осцилляции не наблюдаются и при наклонном падении. Они не наблюдаются и при другом наклоне кривой a(z) а

также и при другом (нелинейном) законе изменения модуляции. Единственным условием является равенство нулю a(z) на одной из границ слоя ФК, что означает минимизацию влияния одной из границ конечного слоя ФК.



Рис.1. Зависимость коэффициента отражения R от длины волны λ (a) и профиль диэлектрической проницаемости $\varepsilon(z)$ (b) в случае отра-





Рис.2. Те же зависимости, что и на рис. 1, при $\varepsilon_{\scriptscriptstyle s}$ =1 .









Рис.4. Те же зависимости, что и на рис.3, при $\varepsilon_s = 1$.

Таким образом, мы получили решение для полупространства с конечным слоем ФК.

В заключение отметим, что полученные в данной работе результаты могут быть проверены в реальном эксперименте и могут быть использованы для создания широкополосных зеркал, всенаправленных отражателей, чисто оптических диодов и т.д. Отметим также, что в волноводной и волоконной технике для подавления осцилляций вне ФЗЗ применяют аподизирование [6-11].

Выражаю благодарность Армянскому Национальному Фонду Науки и Образования (ANSEF грант # 1264-PS) за частичную финансовую поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. J.Joannopoulos, R.Meade, J.Winn. Photonic Crystals. Princeton, Princeton Univ., 1995.
- 2. K.Sakoda. Optical Properties of Photonic Crystals. Berlin, Springer, 2001.
- 3. **S.G.Johnson, J.Joannopoulos.** Photonic Crystals: The Road from Theory to Practice. Boston, Kluwer, 2002.
- 4. A.H.Gevorgyan, K.V.Papoyan, O.V.Pikichyan. Opt. Spectrosc., 88, 586 (2000).
- 5. A.H.Gevorgyan, M.Z.Harutyunyan. Phys. Rev. E, 76, 031701-9 (2007).
- 6. P.S.Gross, H.Kogelnik. Opt. Lett., 1, 43 (1977).
- 7. B. Malo, D.C. Johnson, et al. Electr. Lett., 31, 223 (1995).
- 8. B.J. Eggleton, C.M. de Sterke, R.E. Slusher. JOSA, B, 16, 587 (1999).
- 9. D. Wiesmann, R. Germann, et al. JOSA B, 20, 417 (2003).
- 10. D-D.Do, N.Kim, et al. Appl. Opt., 43, 4520 (2004).

11. W.C.L.Hopman, R.Dekker, et al. IEEE Phot. Techn. Lett., 18, 1855 (2006).

ጉኮ\$ՐԱԿՑԻՈՆ ԱՆԴՐԱԴԱՐՁՄԱՆ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ՄՈՏ ԳՏՆՎՈՂ ԴԻ\$ՐԱԿՑԻՈՆ ՕՍՑԻԼՅԱՑԻԱՆԵՐԻ ՃՆՇՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

Ա.Հ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

Քննարկված է լույսի թեք անկումը մոդուլման գրադիենտային պարամետրերով քիրալ ֆոտոնային բյուրեղի շերտի վրա։ Խնդիրը լուծվել է շերտերի գումարման Համբարձումյանի եղանակով։ Ցույց է տրված, որ որոշակի պայմանների դեպքում հնարավոր է Ճնշել դիֆրակ-ցիոն անդրադարձման տիրույթի մոտ գտնվող դիֆրակցիոն օսցիլյացիաները։

METHOD OF SUPPRESSION OF DIFFRACTION OSCILLATIONS NEAR THE DIFFRACTION REFLECTION REGION

A.H. GEVORGYAN

Light oblique incidence onto the layer of a chiral photonic crystal with graded parameters of modulation is considered. The problem is solved by the Ambartsumian's layer addition method. It is shown that under certain conditions it is possible to suppress the diffraction oscillations near the diffraction reflection region.