

значительные изменения состава жидкой фазы в этом случае вызывают особо сильные изменения состава твердой фазы. Эксперимент в космосе был рассчитан на подавление конвекционной составляющей в образовании дефектов кристаллической структуры $Ga_xIn_{1-x}P$, и его результаты, очевидно, можно считать достаточно успешными.

Приведенные результаты можно рассматривать как первые итоги исследований, которые в дальнейшем должны послужить основанием для постановки новых экспериментов с целью формирования наших представлений о процессах структурообразования в космосе. Все имеющиеся в настоящее время данные в этой области являются уникальными и, несомненно, послужат как совершенствованию технологических приемов получения новых материалов в земных условиях, так и развитию космического материаловедения, способствующего получению совершенных структур материалов, которые не могут быть выращены на Земле.

Авторы приносят благодарность сотрудникам Института космических исследований проф. А. С. Охотину, И. А. Зубрицкому, Г. Е. Игнатьеву, И. П. Казакову за любезно предоставленные образцы и полезные обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Брандт Н. Б., Белов А. Г. и др. Деп. ВИНТИ, № 4481 — 81 Деп.
[2] Акимов Б. А., Чудинов С. М., Мошалков В. В. Физ. низ. температур, 1978, № 1, с. 3. [3] Bears T., Sorger F. Sol. State Comm., 1972, 10, p. 875.
[4] Белов А. Г., Рашевская Е. П. В кн.: Мат. IV Всесоюз. симпоз. по полупроводникам с узкой запрещ. зоной и полуметаллам. Львов, 1975, ч. IV, с. 67.
[5] Marriette H., Chevallier J. J. Appl. Phys., 1977, 48, N 3, p. 1200.

Поступила в редакцию
30.11.81

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1983, т. 24, № 1

УДК 621.372

СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНОГО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ ПРИ НАКЛОННОМ ПАДЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ

А. Н. Баскаков, А. В. Тихонравов

(кафедра математики)

Многослойный интерференционный поглотитель (МИП) [1—5] представляет собой резонансную структуру типа Фабри — Перо, в которой обеспечивается практически полное поглощение (преобразование) энергии падающей волны в тонком слое чувствительного к излучению вещества, в обычных условиях практически прозрачного для излучения. В последнее время МИП интенсивно исследуется в качестве входного элемента приемников и преобразователей волновых (например, оптических) излучений. Имеются достаточно подробные расчеты основных характеристик МИП при нормальном падении излучения [2—3]. Однако, поскольку работа МИП, как и других многослойных интерференционных структур, существенно зависит от угла падения излучения, необходимо подробно исследовать угловые характеристики МИП. Режим наклонного падения особенно интересен в связи с возможностью плавной перестройки резонансной частоты поглощения, а также в связи с вопросом о степени подавления внешних шумов приемника с МИП на входе.

Для получения угловых характеристик МИП с четвертьволновыми зеркалами учтем зависимость параметров зеркал и резонансного слоя, образующих МИП, от угла падения излучения. Воспользуемся результатами работы [2], где, в частности, получена формула для коэффициента поглощения МИП вблизи его рабочей длины волны λ_0 :

$$A = \frac{4x}{(1+k+x)^2 + 4y^2}. \quad (1)$$

В этой формуле $k=T_2/T_1$, где T_1 и T_2 — энергетические коэффициенты пропускания переднего и заднего зеркал МИП на рабочей длине волны λ_0 при нормальном падении и без учета поглощения; в x входят все члены, учитывающие малое поглощение в слоях МИП; в y — все члены, учитывающие отклонение длины волны от λ_0 .

Анализируя вывод формулы (1) в [2], нетрудно заметить, что в x включаются члены, связанные с изменением модулей коэффициентов отражения зеркал МИП вследствие учета различных факторов, а в y — члены, связанные с изменением набега фазы в рабочем слое и с изменением сдвига фазы при отражении от зеркал. Поскольку в первом приближении поглощение влияет лишь на модули коэффициентов отражения и не изменяет сдвига фазы при отражении, то в y оно не учитывается. Соответственно изменение фазы коэффициента отражения диэлектрических зеркал в области плато отражения пропорционально $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, а изменение модуля — $\Delta\lambda^2$ [6]. Поэтому в приведенном в [2] выражении для x зависимость от λ не учитывается.

В общем виде $y = \Delta\varphi/T_1$ [2], где $\Delta\varphi$ — отклонение $\varphi = 2\alpha + \varphi_1 + \varphi_2$ от ближайшего числа, кратного 2π . Здесь α — набег фазы в рабочем слое, а φ_1 и φ_2 — фазовые сдвиги при отражении от переднего и заднего зеркал со стороны рабочего слоя. На рабочей длине волны λ_0 при нормальном падении выполняется условие [2] $\varphi = 0 \pmod{2\pi}$. При изменении угла падения излучения изменяются набег фазы в рабочем слое и спектральные характеристики зеркал. Будем считать угол падения θ_0 малым. Вблизи центральной длины волны четвертьволнового диэлектрического зеркала изменение фазового сдвига при отражении пропорционально θ_0^2 , а изменение модуля коэффициента отражения — θ_0^4 . Рабочая длина волны МИП с четвертьволновыми зеркалами совпадает с их центральной длиной волны [2, 3]. Поэтому для зеркал учтем только зависимость φ_1 и φ_2 от θ_0 . Набег фазы в рабочем слое α равен $(2\pi/\lambda)nd \cos \theta$, где n — показатель преломления, d — толщина рабочего слоя, а θ — угол направления распространения волны в нем. Из закона Снеллиуса следует, что $\theta = n_0\theta_0/n + O(\theta_0^3)$ (n_0 — показатель преломления внешней среды), а значит, изменение α при отклонении θ_0 от нуля также пропорционально θ_0^2 . Таким образом, $\Delta\varphi \sim T_1^2$.

Поскольку, как следует из способа вывода формулы (1) в [2], конкретная причина изменения φ несущественна, мы сразу же можем модифицировать приведенное в [2] выражение для A с учетом зависимости φ от θ_0 . Выделяя в явном виде зависимость A от θ_0 и λ , запишем:

$$A(\theta_0, \lambda) = \frac{4x}{(1+k+x)^2 + 4(C\theta_0^2 + B(\lambda - \lambda_0)/\lambda_0)^2}. \quad (2)$$

Выражение для коэффициента B в общем случае приведено в [2]. Для четвертьволновых диэлектрических зеркал с чередующимися пока-

зателями преломления n_H и n_L ($n_H > n_L$), согласно результатам работы [6],

$$B = \frac{2}{T_1} \left[\frac{\pi n_H n_L}{n(n_H - n_L)} + \alpha_0 \right],$$

если к рабочему примыкают слои с низким показателем преломления, и

$$B = \frac{2}{T_1} \left[\frac{\pi n}{n_H - n_L} + \alpha_0 \right],$$

если к рабочему примыкают слои с высоким показателем преломления. Здесь α_0 — набег фазы в центральном слое при $\lambda = \lambda_0$ и $\theta_0 = 0$.

Используя формулы зависимости фазового сдвига при отражении от θ_0 и вид зависимости α от θ_0 , нетрудно получить следующие выражения для C :

$$C = \frac{n_0^2}{n^2 T_1} \left[\pi n \frac{n_H^2 + n_L^2 - n_H n_L}{n_H n_L (n_H - n_L)} + 2\alpha_0 \right]$$

в первом из отмеченных выше случаев и

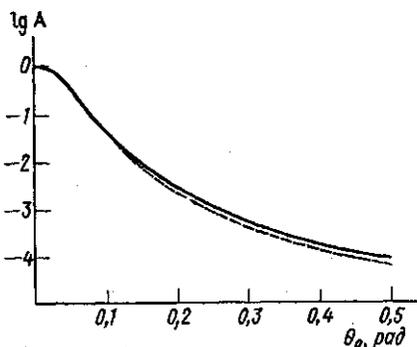
$$C = \frac{n_0^2}{n^2 T_1} \left[\frac{\pi n^3}{n_H n_L (n_H - n_L)} + 2\alpha_0 \right]$$

во втором.

Выражение для x в (2) совпадает с приведенным в [2, 3], так как зависимостью модулей коэффициентов отражения зеркал от θ_0 мы пренебрегаем.

Для проверки применимости полученной формулы был проведен расчет $\lambda = \lambda_0$ угловой зависимости коэффициента поглощения МИП с восьмислойным передним и четырнадцатислойным задним зеркалами ($n_H = 3,5$, $n_L = 1,6$) и центральным слоем с комплексным показателем преломления $n + i\chi = 4 + i0,0005$. На рисунке представлены зависимости коэффициента поглощения этого МИП от угла падения, полученные расчетом на ЭВМ МИР-2 по точным формулам (сплошная линия) и по приближенной формуле (2) (пунктир). Как видно, формула (2) с высокой точностью описывает зависимость коэффициента поглощения МИП от угла падения излучения при $\theta_0 \leq 30^\circ$.

Из формулы (2) следует, что при наклоне МИП относительно пучка излучения резонансная кривая смещается в коротковолновую область, а величина смещения пропорциональна квадрату угла падения. Форма резонансной кривой при этом, как видно из (2), не изменяется. Это дает возможность плавной перестройки МИП по резонансной частоте в пределах спектрального интервала, относительная ширина которого зависит от параметров резонансного слоя и зеркал и может составлять несколько процентов. Отмеченный результат свидетельствует также о том, что на вход приемника будет проникать фоновое излучение в основном из спектрального интервала, прилегающего к длине волны сигнального излучения λ_0 с коротковолновой стороны, ширина



которого определяется углом обзора приемника. Антенные свойства МИП описываются формулой (2), дающей при $\lambda = \lambda_0$ форму центрального лепестка диаграммы направленности.

Для $\lambda = \lambda_0$ угловая полуширина $\delta\theta$ центрального лепестка на уровне $A_{\max}/2$ определяется по формуле

$$\delta\theta = \sqrt{\frac{1+k+x}{2C}}$$

Параметры МИП выбираются из требования максимальности A при $\lambda = \lambda_0$ и $\theta_0 = 0$. При этом оказывается, что $x \sim 1$, $k \ll 1$ [3]. Поэтому $\delta\theta \cong \sqrt{1/C}$. Как следует из выражений для C , величина C пропорциональна $1/T_1$. В свою очередь, $T_1 \sim (n_L/n_H)^{2N}$, где $2N$ — число слоев переднего зеркала. Поэтому $\delta\theta \sim (n_L/n_H)^N$. Отсюда видно, что угловая ширина центрального лепестка быстро уменьшается с увеличением числа слоев переднего зеркала или отношения n_H/n_L .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Баскаков А. Н., Козарь А. В. и др. Письма в ЖТФ, 1976, 2, № 19, с. 891. [2] Пирогов Ю. А., Тихонравов А. В. Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1978, 19, № 6, с. 42. [3] Пирогов Ю. А., Тихонравов А. В. Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника, 1978, 21, № 3, с. 19. [4] Антонов В. В., Войцеховский А. В. и др. Радиотехн. и электроника, 1978, 23, № 10, с. 2189. [5] Баскаков А. Н. Автореф. канд. дис. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. [6] Клементьева А. Ю., Тихонравов А. В. Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1978, 19, № 3, с. 75.

Поступила в редакцию
27.03.81

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1983, т. 24, № 1

УДК 62—50+534

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВ ТРАЕКТОРИЙ КОРНЕЙ ЛИНЕЙНЫХ И ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА

Г. А. Бендриков, В. И. Мифтахов

(кафедра физики колебаний)

Как известно, качество переходного процесса системы зависит от расположения нулей и полюсов передаточной функции относительно полюсов комплексного спектра внешнего воздействия. Поэтому важной задачей является исследование законов движения полюсов системы (корней характеристического уравнения) при изменении параметров системы.

В отличие от [1, 2] в настоящей работе проведено полное исследование всех типов траекторий корней (ТК) линейных и линеаризованных систем, описываемых характеристическим уравнением

$$(a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4) + K = 0. \quad (1)$$

Здесь K — свободный параметр, изменяющийся в широких пределах ($0 \leq K < +\infty$ или $-\infty < K \leq 0$), a_i ($i=0, 1, \dots, 4$) — параметры семейства ТК, принимающие самые разнообразные значения. К такому виду могут приводиться уравнения свободных движений систем различной физической природы с обратной связью или без нее, пассивных или активных.