

УДК 535.417

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ОТРАЖАТЕЛИ ПРИ СКОЛЬЗЯЩЕМ ПАДЕНИИ СВЕТА

А. Ю. Клементьева

(кафедра оптики и спектроскопии)

В современном физическом эксперименте используются световые пучки, отражающиеся при больших углах к нормали, порядка $85-90^\circ$. При таком скользющем падении света в воздухе, как показывают оценки по формулам Френеля [1], коэффициент отражения от поверхностей оптических материалов возрастает, достигая значений $0,60-0,95$ ($\theta = 89,5^\circ$, $n_0 = 1,5$). Задача дальнейшего увеличения коэффициента отражения до значений, близких к 1, с помощью многослойных диэлектрических систем с учетом их специфических свойств рассмотрена в данной работе.

Как показывает расчет, спектральные кривые отражения диэлектрических двухкомпонентных зеркал типа $HL \dots LHD$ (H и L — четвертьволновые пленки с высоким и низким показателями преломления), обычно имеющие плато высокого отражения, сильно деформируются при скользющем падении света, и зеркала становятся неэффективными. Область отражения зеркал становится значительно уже и смещается в коротковолновую часть спектра, спектральная кривая отражения для p -компоненты пучка сильно снижается, обнаруживая в ряде случаев провал R в центральной части плато отражения.

Ухудшение свойств зеркал связано с тем, что для большинства диэлектриков углы прохождения света в слоях близки к углам Брюстера (превышают θ_{Br} на несколько градусов — см. таблицу), что ведет к уменьшению френелевских коэффициентов отражения p -компоненты поляризации пучка и возникновению дополнительных сдвигов фазы на π на границах слоев.

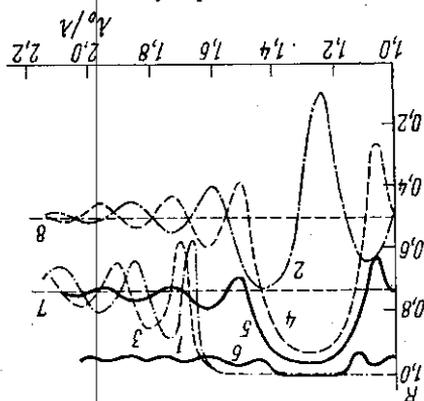
Углы прохождения света в слоях диэлектрического зеркала и углы Брюстера на границах этих слоев при скользющем падении световой волны на систему

Материал слоя	Na_3AlF_6	CeF_3	PbF_2	SiO	ZnS	Ge
Угол преломления в слое (град)	48,3	38,7	34,8	31,8	25,7	14,5
Угол Брюстера на границе с соседним слоем (град)	59,8	40,8	37,4	35,2	30,2	19,3
Показатель преломления соседних слоев	2,30	1,38	1,34	1,34	1,34	1,40

Большую роль при $\theta \rightarrow 90^\circ$ начинает играть отражение на внешней границе первого слоя покрытия, которое становится сравнимым по величине с отражением на нижней границе этого слоя. В случае целочисленности порядка интерференции слоя, равного $2n_1h_1 \cos \theta_1 / \lambda + (\beta_1 + \beta_2) / (2\pi) = K$, он обуславливает появление пиков пропускания и соответствующих им минимумов отражения в центре плато отражения зеркал, которые могут иметь место как для p -, так и для s -составляющей пучка.

Особенности свойств многослойных диэлектрических зеркал хорошо видны из рисунка, где приведены спектральные кривые отражения 9-, 10- и 16-слойных систем $ZnS-Na_3AlF_6$ ($n_H=2,3$, $n_L=1,34$, $n_0=1,52$). Характеристики зеркал R_s , R_p и $(R_s+R_p)/2$ для неполяризованного света были рассчитаны матричным методом с помощью ЭВМ [2, 3].

9-слойная система зеркал имеет провал в спектре отражения, который можно устранить добавлением одного слоя с низким показателем



Спектральные кривые отражения диэлектрических зеркал при скользющем падении света: 1, 2 — R_s и R_p для 9-слойного зеркала $HL...LHD$, $\theta=85^\circ$; 3, 4, 5 — R_s , R_p , $(R_s+R_p)/2$ для 10-слойного зеркала $LH...LHD$, $\theta=85^\circ$; 6 — $(R_s+R_p)/2$ для 16-слойного зеркала $LH...LHD$, $\theta=89^\circ$; 7, 8 — R_s и R_p для подложки с $n_0=1,52$, $\theta=85^\circ$, $n_H=2,3$, $n_L=1,34$

Так при $\theta=89^\circ$ (R подложки равно 90%) системы с внешним слоем фторида L имеют R_{max} , равный: для 6 слоев — 95,4%, для 8 слоев — 97%, для 10 слоев — 99,2%, что близко к отражению 7-, 9- и 11-слойных зеркал $ZnS-Na_3AlF_6$ (95,98 и 99,5%) при нормальном падении света. При угле падения $89,5^\circ$ система $LH...LHD$ (слой $ZnS-Na_3AlF_6$) с $N=16$ позволяет получить $R_{max}=99,9\%$; при этом R непокрытой подложки равен 95%.

Характерна сильная зависимость спектрального отражения от оптических параметров внешнего слоя: коэффициента преломления $n+i\chi$ оптической толщины nh .

Малое поглощение слоев, как в случае нормального падения, несколько снижает величину R_{max} . Например, для приведенной выше 16-слойной системы $LH...LHD$ (слой $ZnS-Na_3AlF_6$) отражение снижается на величину 0,05% при $\chi_H=1 \cdot 10^{-3}$ и $\chi_L=1 \cdot 10^{-4}$.

Согласование слоев по толщине (когда эффективные оптические толщины слоев зеркала, равные $(nh)_i \cos \theta_i$, приводятся к одному значению $\lambda_0/4$), выполненное автором для систем $ZnS-Na_3AlF_6$, не позволило увеличить R_{max} , однако эта операция дала значительное расширение области отражения, примерно в 1,5 раза, что указывает на эффективность согласования.

Описанные закономерности имеют место для других, применяющихся в настоящее время двухкомпонентных отражателей: $PbF_2-Na_3AlF_6$, TiO_2-SiO_2 , $Ge-SrF_2$ и др.

Таким образом, использование интерференционных зеркал при скользющем падении света имеет специфические особенности, а именно: сильную зависимость от параметров внешнего слоя, более медлен-

н преломления с внешней стороны покрытия L (кривая 5 на рисунке). Таким образом, системы с внешним L -слоем, обычно не применяющиеся при небольших углах падения из-за снижения R_{max} , являются целесообразными при скользющем падении света, так как имеют гладкую кривую отражения $(R_p+R_s)/2$ и обеспечивают более высокое значение коэффициента отражения.

В целом значения коэффициента отражения поверхности, достигнутые с помощью диэлектрических зеркал, соответствуют примерно тем же значениям чисел слоев зеркал N_i , которые необходимы при нормальном падении света для получения определенного R :

ный рост отражения в зависимости от числа слоев, влияние согласования толщин слоев на ширину области отражения, которые необходимо учитывать для достижения высокой отражательной способности в экспериментальных установках.

Автор благодарит за участие в расчетах систем А. В. Тихонравова и А. И. Дмитриева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Розенберг Г. В. Оптика тонкослойных покрытий. М.: ГИТТЛ, 1958.
[2] Королев Ф. А., Клементьева А. Ю. Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон., 1980, 21, № 5, с. 42. [3] Клементьева А. Ю., Тихонравов А. В. Опт. и спектр., 1974, 36, с. 777.

Поступила в редакцию
23.05.83

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1984, т. 25, № 4

УДК 551.515.2

МАКРОМАСШТАБ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ В КОНВЕКТИВНОМ ВИХРЕ

С. Б. Бобошина, А. А. Соловьев

(кафедра молекулярной физики)

В настоящее время интенсивно изучаются особенности структуры атмосферных вихрей как при натуральных наблюдениях, так и в рамках лабораторного моделирования. Особый интерес представляют исследования условий, при которых в атмосферных вихрях типа тайфунов и торнадо происходит образование упорядоченных структур из нерегулярных турбулентных пульсаций. В работах [1, 2] описаны некоторые особенности поведения осредненных характеристик течения в модели конвективного вихря. При определенных режимах возбуждения вихря наблюдались нарушения монотонности изменения скорости вращения вихря в зависимости от вводимой в него энергии. В настоящей работе предпринимается попытка связать замеченные особенности с изменением макромасштаба турбулентных пульсаций в модели вихря.

Воздушный конвективный вихрь создавался в камере диаметром 50 см и высотой 20 см. Способ возбуждения вихря описан в работе [2]. Измерения скоростей производились методом лазерной анемометрии на установке, описанной в [3]. Измерялись радиальные профили тангенциальной скорости $V(r)$ и турбулентных напряжений — $\rho \overline{U'V'}$ = $f(r)$. Здесь U' , V' — соответственно радиальная и тангенциальная компоненты пульсационной скорости. Способ измерения турбулентных напряжений основан на определении уширений доплеровского сигнала при различных ориентациях потока по отношению к оптической оси лазерного анемометра [4]. В опытах изменялась температура подстилающей поверхности T . Угол входа потока в вихрь $\theta = 80^\circ$ и расстояние от подстилающей поверхности $Z = 10$ см оставались постоянными.

Нормированные радиальные профили тангенциальной скорости $V/V_m = f(r/r_m)$ показаны на рис. 1, 2. Здесь V_m — скорость, которая достигается в первом максимуме на радиусе r_m . Получено два типа профилей. В первом (см. рис. 1) скорость после достижения максимума плавно уменьшается с удалением от центра вихря. Во втором слу-