

- [1] A. Girard. Appl. Optics, 2, 79, 1963.
 [2] A. Girard. Optica Acta, 7, 81, 1960.
 [3] К. И. Тарасов. Спектральные приборы. Изд. «Машиностроение», Л., 1968.
 [4] Ю. С. Лезин. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов. Изд. «Сов. радио», М., 1963.
 [5] К. Н. Чиков. Автореф. канд. дисс. Л., 1971.
 [6] С. М. Горский, В. А. Зверев, Г. К. Иванова. Матер. совещ. Комиссии приборостроения при Астрономическом Совете АН СССР, вып. 3, 67, 1970.
 [7] И. М. Иванова, Ю. Л. Кетков, Т. С. Ямпольская. Изв. вузов, радиофизика, 3, 911, 1960.

Поступило в Редакцию 10 сентября 1973 г.

УДК 535.824.31

ОБ УГЛОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

И. Н. Шкляревский, Г. Зартов и Е. А. Лунашко

Во многих схемах, включая лазерные установки, многослойные диэлектрические высокоотражающие зеркала располагаются под углом к падающему на них пучку света. При этом поступают двояким образом. 1. Зеркало A , оптические толщины соседних слоев которого

$$t_1 n_1 = t_2 n_2 = \lambda_0 / 4, \quad (1)$$

устанавливаются под заданным углом φ_0 к пучку света. 2. Для заданного угла падения света φ_0 изготавливается зеркало B , оптические толщины соседних слоев которого

$$t_1 \sqrt{n_1^2 - \sin^2 \varphi} = t_2 \sqrt{n_2^2 - \sin^2 \varphi} = \lambda_0 / 4. \quad (2)$$

В первом случае при повороте зеркала A на угол φ_0 область высокого отражения смещается в коротковолновую часть спектра. Это обстоятельство легко учесть при изготовлении зеркала, если необходимо, чтобы $R_{\text{макс}}$ при данном φ_0 соответствовало определенной длине волны λ_0 . Во втором случае $R_{\text{макс}}$ зеркала B при угле φ_0 соответствует λ_0 , для которой выполняется соотношение (2).

В работах Сухановского [1-3] рассчитаны и измерены спектральные зависимости коэффициентов отражения R_p и R_s для p - и s -компонент и разности фаз $\Delta = \delta_p - \delta_s$ при $\varphi_0 = 45^\circ$ зеркал типа A , состоящих из чередующихся слоев сернистого цинка и криолита. Приводится зависимость $\Delta(\varphi)$ для λ_0 , соответствующей $R_{\text{макс}}$ при $\varphi = 0$. В работе [4] для девятнадцатислойных зеркал (ZnS , MgF_2) типа B при $\varphi_0 = 30$ и 45° рассчитана и измерена спектральная зависимость $\Delta(\lambda)$. Цитируемые работы не дают возможности сделать вывод о преимуществе тех или других зеркал. Сравнение оптических характеристик зеркал типа A и B при наклонном падении света проведено в данной работе.

Мы выполнили расчет на ЭВМ M222 и измерение коэффициентов отражения и скачков фаз многослойников типа A и B ($\varphi_0 = 30$ и 45°), состоящих из семи и тринадцати чередующихся слоев сернистого цинка и криолита. При расчетах дисперсией показателя преломления $n_1 = 2.3$ и $n_2 = 1.35$ мы пренебрегли.

Методика нанесения зеркал A описана в [5, 6]. В зеркалах B оптические толщины соседних слоев при $\varphi = 0$ или $\varphi \neq \varphi_0$ не равны друг другу. Так как контроль толщин осаждаемых слоев выгодно вести при нормальном падении монохроматического света на образец, мы поступили следующим образом. На контрольную подложку осаждалось зеркало, толщины слоев которого удовлетворяли (1). Подложки же изготавливаемых зеркал B помещались на держателе, могущем перемещаться вверх и вниз с помощью микрометричного винта. Так как толщина данного осадка обратно пропорциональна квадрату расстояния испаритель-подложка, нетрудно рассчитать те расстояния, на которые нужно смещать подложку образца от контрольной подложки при испарении сернистого цинка и при испарении криолита, чтобы для $\varphi = \varphi_0$ получить $R_{\text{макс}}$ при $\lambda = \lambda_0$, по которой велся контроль толщин. Эти два положения держателя уточняются экспериментально, а затем фиксируются. Зеркала обоих типов изготавливались для $\lambda_0 \sim 550$ нм.

Спектральные зависимости R_p и R_s при различных углах падения измерялись на спектрофотометре СФ-4 с специальной приставкой. Измерение дисперсии фазовых сдвигов δ при $\varphi = 0$, δ_p и δ_s и $\Delta = \delta_p - \delta_s$ при $\varphi \neq 0$ проводилось интерферометрическим

методом с помощью линий равного хроматического порядка (ЛРХП). Эта методика для нормального падения света на интерферометрические пластины (диэлектрические зеркала) описана в [6-8]. Величины Δ ($\varphi \neq 0$) измерялись, как и в [9], для металлических зеркал.

Сжатые зажимом идентичные зеркала укреплялись на гониометре, с помощью которого измерялись углы падения света φ . При наклонном падении света на зеркала вследствие различия δ_p и δ_s ЛРХП расщепляются. Для этих двух систем линий справедливы уравнения

$$\left. \begin{aligned} 2t \cos \varphi - \frac{\delta_p^k \lambda^k}{\pi} &= (m+k) \lambda_p^k \\ 2t \cos \varphi - \frac{\delta_s^k \lambda^k}{\pi} &= (m+k) \lambda_s^k \end{aligned} \right\} (3)$$

где $k=0, 1, 2, \dots$ ($k=0$ для самых длинноволновых линий). Измерив длины волн $\lambda_{p,s}^k$ ЛРХП и определив их интерференционные порядки $(m+k)$, для каждой из двух систем мы строили зависимости $(m+k) \lambda_{p,s}^k = f(\lambda_{p,s}^k)$. По этим зависимостям, принимая во внимание, что при $\lambda = \lambda_0$ $\delta = -\pi$ ($\varphi=0$, зеркало А) и $\delta_p = \delta_s = -\pi$ ($\varphi = \varphi_0$, зеркало В), были найдены $\delta_p(\lambda)$, $\delta_s(\lambda)$ и $\Delta(\lambda)$. Кстати, при определении $\Delta(\lambda)$ интерференционные порядки в (3) могут быть взяты произвольно: для данной λ разность ординат кривых $(m+k) \lambda_{p,s}^k = f(\lambda_{p,s}^k)$ соответственно p - и s -составляющих всегда дает величину $\Delta \lambda / \pi$.

На приведенных ниже рисунках мы сравниваем оптические характеристики, рассчитанные и измеренные для 13-слойных зеркал А и В ($\varphi_0 = 45^\circ$). В случае семислойников и зеркал В ($\varphi_0 = 30^\circ$) получены аналогичные результаты.

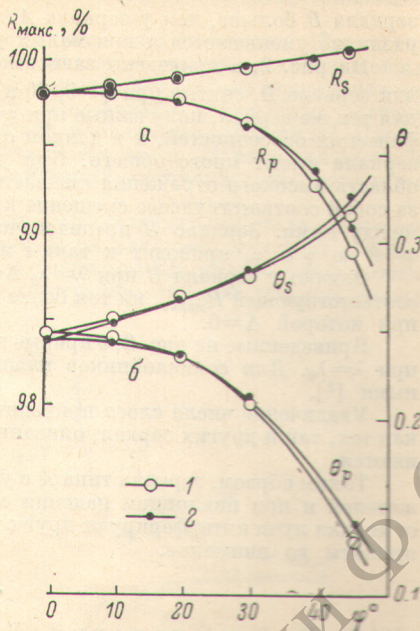


Рис. 1. Угловые зависимости R_p и R_s (а) и θ_p и θ_s (б).

Сплошные линии — расчеты, соответствующие зеркалам А и В, точки 1 и 2 — эксперимент.

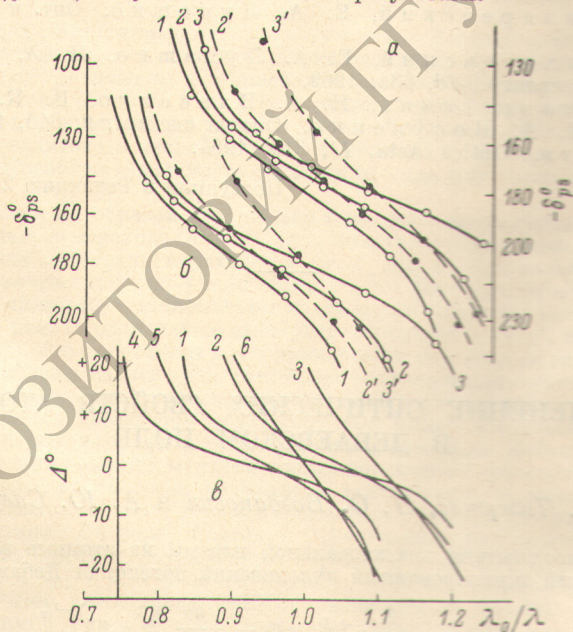


Рис. 2. Рассчитанные спектральные зависимости $\delta_{p,s}$ (λ_0/λ) зеркал А и В (б).

Кривые 1-3 соответствуют $\varphi = 0.30$ и 45° , 2, 3 — s , 2', 3' — p -компоненты, точки — эксперимент. Спектральные зависимости $\Delta(\lambda_0/\lambda)$ (а). 1-3 и 4-6 соответствуют $\varphi = 20^\circ, 30^\circ$ и 45° для зеркала А и В.

На рис. 1, а сравниваются угловые зависимости R_p и R_s в максимумах отражения, а на рис. 1, б — угловые зависимости ширины области высокого отражения $\theta_{p,s} = 1 -$

$-\lambda_1/\lambda_2$, где λ_1 и λ_2 соответствуют $R_{p,s}=98\%$. Как следует из рис. 1, только вблизи $\varphi=\varphi_0$ R_p зеркала B несколько больше R_p зеркала A . В согласии с [1⁰] при $\varphi=\varphi_0$ величины $\Theta_{p,s}$ зеркала B больше, чем у зеркала A . Как и следовало ожидать, с уменьшением φ это различие уменьшается и при малых углах изменяет знак.

На рис. 2, *a* приведены зависимости $\delta_{p,s}(\lambda_0/\lambda)$ для зеркала A , а на рис. 2, *б* — для зеркала B , снятые при $\varphi=0, 30$ и 45° . На рис. 2, *в* начерчены зависимости $\Delta(\lambda_0/\lambda)$ для тех же зеркал, полученные при $\varphi=30$ и 45° . Если абстрагироваться от ряда специфических особенностей, и в данном случае соответствующие кривые одного и второго зеркала имеют много общего. При увеличении угла падения света φ на зеркало A область высокого отражения смещается в коротковолновую часть спектра, что влечет за собой соответствующее смещение кривых $\delta_p(\lambda_0/\lambda)$ и $\delta_s(\lambda_0/\lambda)$ и увеличение различия между ними. Зеркало B предназначено для работы при $\varphi=\varphi_0$. Но увеличение φ от $\varphi=0$ до $\varphi \geq \varphi_0$ приводит к таким же результатам.

Однако у зеркала B при $\lambda=\lambda_0$ $\Delta=0$, в то время как у зеркала A $\Delta \neq 0$ ни при λ , соответствующей $R_{\text{макс.}}$ ни тем более при $\lambda=\lambda_0$. Но и у зеркала A существует такая λ , при которой $\Delta=0$.

Приведенные на рис. 2, *в* кривые для зеркала A позволяют найти зависимость $\Delta(\varphi)$ при $\lambda=\lambda_0$. Для семислойников наши результаты очень хорошо согласуются с данными [2].

Увеличение числа слоев приводит к тривиальным изменениям оптических свойств как тех, так и других зеркал, описанные же здесь подобию и различия при этом сохраняются.

Таким образом, зеркала типа A с успехом могут быть использованы в качестве отражателей и при наклонном падении света. Однако в тех случаях, когда отраженные от зеркал лучи интерферируют друг с другом, особенности кривых рис. 2 должны быть приняты во внимание.

Литература

- [1] В. В. Сухановский. ДАН СССР, 106, 226, 1956.
- [2] В. В. Сухановский. Опт. и спектр., 3, 90, 1957.
- [3] В. В. Сухановский. Опт. и спектр., 3, 382, 1957.
- [4] Б. В. Рыбаков, С. С. Скучаченко, Р. Ф. Чумичев, И. И. Юдин. Опт. и спектр., 25, 572, 1968.
- [5] И. Н. Шкляревский, Р. И. Умеров, Е. А. Лупашко, В. И. Храмцова. Опт. и спектр., 33, 986, 1972.
- [6] И. Н. Шкляревский, Р. И. Умеров, Е. А. Лупашко, И. И. Калиманова. Ж. прикл. спектр., 12, 1092, 1970.
- [7] И. Н. Шкляревский, Е. А. Лупашко. Опт. и спектр., 21, 482, 1966.
- [8] И. Н. Шкляревский, Е. А. Лупашко, Н. А. Носуленко. Ж. прикл. спектр., 10, 634, 1969.
- [9] И. Н. Шкляревский, Н. А. Власенко, В. К. Милославский, Н. А. Носуленко. Опт. и спектр., 9, 640, 1960.
- [10] J. J. Vega. Optica Acta, 11, 315, 1964.

Поступило в Редакцию 20 декабря 1973 г.

УДК 539.184.27

ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АТОМОВ В ДЕБАЕВСКОМ ПОЛЕ

А. Р. Чижюнас, П. О. Богданович и А. Ю. Савукина

Для учета воздействия квазиидеальной плазмы на атомные электроны используется статический экранированный кулоновский потенциал Дебая—Хюккеля

$$V(r) = -\frac{Z}{r} e^{-r/D}, \quad D = \left(\frac{4\pi}{kT} \sum_i \rho_i Z_i^2 \right)^{-1/2} \quad (1)$$

(в атомной системе единиц). Здесь D является радиусом Дебая, ρ_i — плотность частиц с зарядом $Z_i e$. Зависимость собственных значений энергии водородоподобных атомов от радиуса Дебая рассмотрена в ряде работ. Радиальное уравнение Шредингера с указанным потенциалом решается как с применением вариационных методов и теории возмущений [1], так и численным путем [2, 3]. В [3] получены собственные значения энергии для многих состояний атома водорода и водородоподобных ионов от $nl=1s$,