

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСИИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ МЕТОДОМ МНОГОЛУЧЕВОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Я. М. ПОГОСЯН, А. А. ХРИМЯН, С. Д. ГЕВОРКЯН, П. А. БЕЗИРГАНЯН

Предлагается метод расчета дисперсии показателя преломления при многолучевой интерферометрии. Здесь показатель преломления определяется, минуя предварительную оценку величины порядка интерференции, что исключает возможные ошибки, связанные с неточной оценкой k .

В связи с бурным развитием тонкопленочной электроники многолучевая интерференция прочно заняла свое место в физических методах исследования тонких слоев. Если Толанский [1] при разработке этой методики указывал на возможность применения многолучевой интерференции для оценки степени шероховатости исследуемой поверхности и толщины тонких слоев, то дальнейшее усовершенствование этого метода позволило определить толщину тонких слоев с точностью параметра решетки, а также измерить ряд других важных физических параметров. В принципе метод многолучевой интерференции или метод полос равного хроматического порядка довольно прост. Трудность здесь в экспериментальном отношении заключается в получении узких и вертикальных полос, позволяющих оценить их длины волн со спектроскопической точностью. С другой стороны, можно правильно оценить порядок интерференционных полос и корректно учесть дисперсию фазового сдвига при отражении света от металлических поверхностей. Порядок интерференционных полос оценивается по формуле

$$k = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda_1} (\lambda_0 \text{ и } \lambda_1 - \quad \quad \quad (1)$$

длины волн двух соседних интерференционных полос), в которой не учитывается дисперсия фазового сдвига $f(\lambda)$.

Последнее обстоятельство, как было отмечено в работе [2], вместе с ошибкой, вносимой неточной оценкой длин волн интерференционных полос при работе с высокими порядками, может привести к ошибке определяемого порядка на целое число.

С целью исключения возможных ошибок, связанных с неточной оценкой „ k “ и с дисперсией фазового сдвига, обычно прибегают к графическим методам, предложенным [3] Шкляревским, Коестером [4], Коелером [5] и некоторыми авторами настоящей работы [6], [2].

При определении дисперсии показателя преломления задача оценки порядка интерференции еще больше усложняется, так как наряду с вышеуказанными факторами здесь необходимо знание показателя преломления (n), по крайней мере для двух длин волн. При ра-

боте с жидкостями с большой дисперсией n , всякое усреднение $f(\lambda_1) = f(\lambda_0)$ и $n_1 = n_0$ может служить источником грубой ошибки.

По применению многолучевой интерференции для определения дисперсии показателя преломления нам известны две работы [7, 8]. В первой из них [7] дисперсия как фазового сдвига, так и показателя преломления авторами не учитывается вообще. Во второй [8] прибегают к рефрактометрическому методу определения значения показателя преломления для двух длин волн.

В настоящей работе предлагается новый метод определения дисперсии показателя преломления с помощью полос равного хроматического порядка, исключаящий необходимость знания порядка интерференции.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Оптический клин представляет собой две пластины, одна из которых покрыта полупрозрачным слоем серебра, а вторая — непрозрачным слоем серебра со ступенькой (высота ступеньки $\Delta t \approx 400 + 500 \text{ \AA}$).

Вначале снимается интерферограмма такого клина и грубо оценивается высота этой ступеньки. Затем между этими пластинами наносится исследуемая жидкость и также грубо оценивается величина показателя преломления (n). Зная порядок величин Δt и n можно приготовить ступеньку такой толщины, с которой после нанесения жидкости можно получить интерферограмму с одной совпадающей парой полос в интересующей нас области спектра. Такая интерферограмма приведена на рис. 1 и ее схематическое пояснение на рис. 2. Значения длин волн соответствующих полос приведены в табл. 1.

Таблица 1	
Верхняя ступенька	Нижняя ступенька
5282,7	5248,9
5502,0	5476,6
5743,5	5728,5
6006,8	6006,8
6281,5	6296,10

Для интерференционных полос соответствующей верхней ступеньки (рис. 2) имеем следующее выражение:

$$2t_1 = \frac{[k\lambda_0']}{n_0} - f(\lambda_0) = \frac{k+1}{n_1} \lambda_1 - f(\lambda_1) = \frac{k-1}{n_{-1}} \lambda_{-1} - f(\lambda_{-1}), \quad (2)$$

где k — порядок интерференции совпадающей полосы с длиной волны λ_0 ; λ_1 , λ_{-1} — длины волн по обе стороны λ_0 , соответственно с порядками $(k+1)$, $(k-1)$.

Для нижней ступеньки имеем

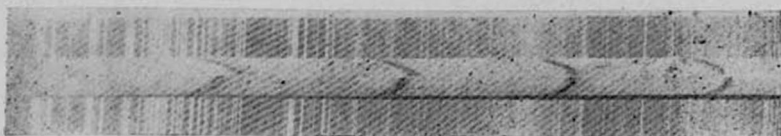


Рис. 1. Интерферограмма, полученная от ступеньки с $\Delta t = 1350 \text{ \AA}$ с прослойкой жидкости в оптическом клине.

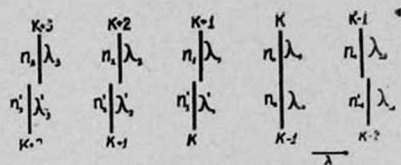


Рис. 2. Схематическое объяснение рисунка 1.



$$2t_2 = \frac{k-1}{n_0} \lambda_0 - f(\lambda_0) = \frac{k \lambda'_1}{n'_1} - f(\lambda'_1) = \frac{k-2}{n'_1} \lambda'_1 - f(\lambda'_1). \quad (3)$$

Разность уравнений (2) и (3) представляет известную удвоенную толщину пленки

$$2\Delta t = \frac{\lambda_0}{n_0}, \quad (4)$$

$$2\Delta t = \frac{k+1}{n_1} \lambda_1 - \frac{k \lambda'_1}{n'_1} - [f(\lambda_1) - f(\lambda'_1)], \quad (5)$$

$$2\Delta t = \frac{k-1}{n_{-1}} \lambda_{-1} - \frac{k-2}{n'_{-1}} \lambda'_{-1} [f(\lambda_{-1}) - f(\lambda'_{-1})]. \quad (6)$$

Из уравнения (4) можно легко вычислить значение коэффициента преломления (n) для длины волны совпадающей пары полос, т. е.

$$n_0 = \frac{\lambda_0}{2\Delta t}.$$

Из уравнения (2) порядок интерференции

$$k = \frac{\lambda_1}{\lambda_0 \frac{n_1}{n_0} - \lambda_1} + \frac{n_1 [f(\lambda_0) - f(\lambda_1)]}{\lambda_0 \frac{n_1}{n_0} - \lambda_1}. \quad (7)$$

Из уравнения (3) для k получим

$$k = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda'_1 \frac{n_0}{n'_1}} + \frac{n_0 [f(\lambda_0) - f(\lambda'_1)]}{\lambda_0 - \lambda'_1 \frac{n_0}{n'_1}}. \quad (8)$$

Решая (7) и (8) вместе, получим

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_0 \frac{n_1}{n_0} - \lambda_1} + \frac{n_1 [f(\lambda_0) - f(\lambda_1)]}{\lambda_0 \frac{n_1}{n_0} - \lambda_1} = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda'_1 \frac{n_0}{n'_1}} + \frac{n_0 [f(\lambda_0) - f(\lambda'_1)]}{\lambda_0 - \lambda'_1 \frac{n_0}{n'_1}}. \quad (9)$$

Как видно из рис. 1, 2, а также из таблицы 1 значения длин волн смешанных пар полос так близки (10–20 Å), что в этом интервале длин волн значение показателя преломления и дисперсии фазового сдвига можно считать постоянными. Такое допущение упрощает выражение (9) и далее можно записать

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_0 \frac{n_1}{n_0} - \lambda_1} = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda'_1 \frac{n_0}{n'_1}}, \quad (10)$$

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_1 \lambda_1' n_0^2} n_1^2 - 2 \frac{\lambda_0 n_1}{\lambda_1 n_0} + 1 = 0. \quad (11)$$

Отсюда

$$n_1 = \frac{n_0 \lambda_1'}{\lambda_0} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{\lambda_1'}{\lambda_1}} \right). \quad (12)$$

Аналогичным методом для других пар получаем

$$n_{-1} = \frac{n_0 \lambda_{-1}'}{\lambda_0} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{\lambda_{-1}'}{\lambda_1}} \right), \quad (13)$$

$$n_2 = \frac{n_0}{2\lambda_0} \left(3\lambda_2 - \lambda_2' \pm \lambda_2' \sqrt{\frac{9\lambda_2'^2}{\lambda_2^2} - \frac{10\lambda_2}{\lambda_2'} + 1} \right), \quad (14)$$

$$n_3 = \frac{n_0}{\lambda_0} \left(2\lambda_3 - \lambda_3' \pm \lambda_3' \sqrt{\frac{\lambda_3'^2}{\lambda_3^2} - 5 \frac{\lambda_3'}{\lambda_3} + 4} \right). \quad (15)$$

Из выражений (12–15) видно, что при известном $n_0 = \frac{\lambda_0}{2\Delta t}$ (до снятия интерферограммы клина с жидкостной прослойкой нами была получена интерферограмма этого же образца с воздушным зазором и вычислена высота ступеньки, равная 1350 Å) можно определить дисперсию показателя преломления, минуя оценку порядка интерференции.

Определение знака корня можно осуществить с помощью уравнения (10) [9].

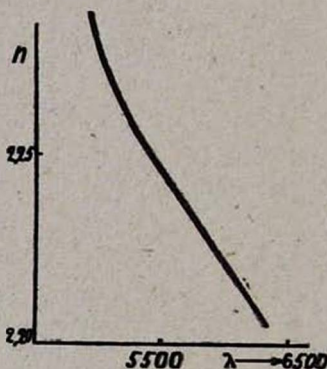


Рис. 3. График зависимости показателя преломления от λ .

Дисперсия показателя преломления силиконового масла, определенная выше описанным методом, приводится на рис. 3.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. С. Толанский, УФН, 30, 103 (1946).
2. Я. М. Полюсян, П. А. Безирианиян, Т. А. Полюсян, Оптика и спектроскопия, 4, 613 (1969).
3. И. Н. Шкляревский, Оптика и спектроскопия, 5, 617 (1958).
4. Ch. Koester, J. Opt. Am., 48, 225 (1958).
5. W. E. Koehler, J. Opt. Soc. Am., 48, 55 (1958).
6. Я. М. Полюсян, К. А. Ешиян, А. О. Солахян, И. Н. Изв. АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 16, 131 (1963).
7. И. Н. Шкляревский, В. К. Милославский, ЖТФ, 8, 1375 (1954).
8. И. Н. Шкляревский, Оптика и спектроскопия, 6, 780 (1959).
9. Я. М. Полюсян, П. А. Безирианиян, Э. А. Бадалян, в печати.

ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ ԲԵԿՄԱՆ ՑՈՒՑԻՉԻ ԴԻՍՊԵՐՍԻԱՅԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ
ԲԱԶՄԱՀԱՌԱԳԱՅԹ ԻՆՏԵՐՖԵՐՈՄԵՏՐԻԱՅԻ ԵՂԱՆԱԿՈՎ

ՅԱ. Մ. ՊՈԼՈՍՅԱՆ, Լ. Հ. ԽՐԻՄՅԱՆ, Ս. Դ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Պ. Հ. ԲԵԶԻՐԳՅԱՆ

Առաջադրվում է բեկման ցուցիչի դիսպերսիայի հաշվարկման մեթոդ բազմաճառագայթ ինտերֆերոմետրիայի եղանակով:

Այս եղանակով բեկման ցուցիչը չափվում է առանց նախապես ինտերֆերենցիայի կարգը որոշելու, որը և կանխում է Ո-ը որոշելու ժամանակ թույլ տրվող հնարավոր սխալը:

DETERMINATION OF DISPERSION OF THE REFRACTION
INDEX IN LIQUIDS BY THE METHOD OF MULTIRAY
INTERFEROMETRY

Y. M. POGOSSIAN, L. A. KHRIMIAN, S. D. GEVORKIAN, P. A. BEZIRGANIAN

A method of calculation of the refraction index dispersion in multiray interferometry is suggested. The refraction index is determined, omitting preliminary estimation of the value of the interference order which excludes possible errors, due to inaccurate estimation of "n".