

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ВАКУУМНОГО СПЕКТРОФОТОМЕТРА ВМ-70 С КОМПЛЕКТОМ СРЕДСТВ ЕГО ПОВЕРКИ

© 2005 г. Н. Г. Герасимова, канд. техн. наук

ВНЦ "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова", Санкт-Петербург

Приведены результаты исследования спектрофотометрической стабильности вакуумного спектрофотометра ВМ-70 в области 180–360 нм с комплектом средств поверки – ослабителей на основе пленок палладия, никеля, фианита, карбида кремния, калиброванных по пропусканию и отражению.

Коды OCIS: 300.6190, 300.6540.

Поступила в редакцию 24.03.2004.

В настоящее время, несмотря на возросший интерес к исследованию спектрофотометрических характеристик оптических материалов в ультрафиолетовой области спектра, остается нерешенной задача обеспечения спектральных приборов для этой области средствами поверки точности производимых с их помощью измерений.

Важной проблемой является стабильность средств поверки. В данной работе приведены результаты многолетних исследований спектрофотометрической стабильности в области 180–360 нм комплекса, включающего вакуумный спектрофотометр ВМ-70 и комплект средств поверки (калиброванных ослабителей света) [1–16].

Прибор ВМ-70, предназначенный для измерений как пропускания, так и отражения образцов, построен по оптической схеме Сея–Намиока с фиксированным положением щелей и решетки. Линейная зависимость длин волн от угла поворота дифракционной решетки (радиус кривизны 1000 мм, 600 штр/мм) обеспечивается синусным механизмом [1, 2].

Градировка прибора по длинам волн осуществлялась с интервалом $\Delta\lambda = 0,2$ нм [1, 2] с источниками света [6, 8] в области 30–700 нм, а в области 113–700 нм с ртутно-водородной лампой ВМР-25 [7].

Контроль интенсивности рассеянного света в спектральной области 35–600 нм осуществлялся с помощью светофильтров и стабильного источника света [9, 10], с использованием пластинок из оптических материалов как отрезающих фильтров за границей их прозрачности (LiF – 105 нм, MgF_2 – 122 нм, CaF_2 – 135 нм и т. д.). Измерения коэффициентов пропускания и отражения проводились с фотометрической камерой [3], внешний вид которой показан на рис. 1.

Были аттестованы несколько комплектов ослабителей на пропускание и отражение, технические характеристики которых приведены в табл. 1, 2.

Основные средства поверки по пропусканию созданы в виде комплектов образцов на основе пленок палладия, нанесенных на подложки из LiF , CaF_2 , MgF_2 и кварца [4, 11]. Каждый комплект состоит из пяти образцов с разными коэффициентами пропускания (рис. 2). Один из образцов представляет со-

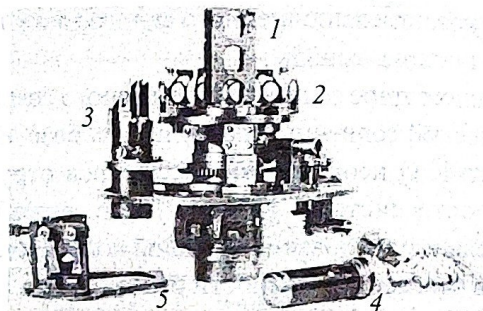


Рис. 1. Внешний вид камеры. 1 – кассета для измерения образцов на отражение при углах падения излучения 10° – 70° и на пропускание последовательно во времени без нарушения вакуума; 2 – оправа для измерения образцов на пропускание или пленок толщиной от 0,18 мкм; 3 – корпус для фотоумножителя 4; 5 – оправа для измерения образцов больших размеров ($30 \times 30 \times 10$ мм) на пропускание. Размеры камеры 20×18 см.

бой плоскопараллельную пластинку без покрытия – подложку, остальные состоят из двух подложек, на поверхность одной из них наносился слой палладия с заданным пропусканием. Толщина слоя палладия зависит от требуемого пропускания светофильтра. Для устранения явления интерференции между двумя подложками устанавливалась металлическая кольцевая прокладка толщиной 0,5 мм.

В качестве калиброванных ослабителей света использовались также образцы сравнения по пропусканию с пленками никеля (рис. 3), на пропус-

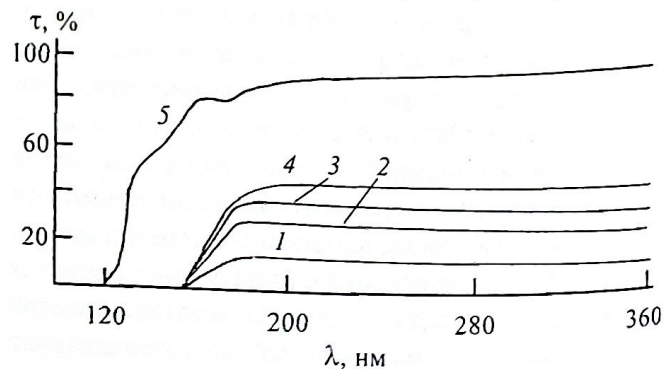


Рис. 2. Спектры пропускания образцов с пленками палладия, нанесенными на подложки CaF_2 . Образцы: № 1 (1), № 2 (2), № 3 (3), № 4 (4). 5 – подложка.

Таблица 1. Значения коэффициентов пропускания τ_{λ}^i (%) и спектрофотометрической стабильности K_{λ}^i для образцов Pd, Ni, фианита, SiC

Характеристика на данной длине волны (λ, нм)		Подложка CaF ₂ с покрытием						Фианит	SiC (широкая сторона)
		Pd				Ni			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 1	№ 2		
τ ₁₈₀ , %	1978	14,7	29,0	38,0	46,8	5,5	45,0	22,0	17,2
	2001	14,5	28,8	37,9	47,0	5,6	45,2	21,7	17,1
τ ₃₆₀ ⁱ , %	1978	13,0	25,0	35,0	45,0	11,0	52,0	70,0	45,2
	2001	13,2	25,2	34,8	44,7	11,1	51,9	70,9	45,3
K ₁₈₀ ⁱ ×10 ²		-1,36	-0,69	-0,26	0,43	1,8	0,44	-1,36	-0,58
K ₃₆₀ ⁱ ×10 ²		1,54	0,8	-0,57	-0,67	0,91	-0,19	1,29	0,22

Таблица 2. Значения коэффициентов отражения ρ_{λ}^i (%) при угле падения излучения $\alpha = 45^\circ$ и спектрофотометрической стабильности P_{λ}^i для образцов SiC разных политипов (6H, 2H, 15R), SiO₂ [16] и фианита в области спектра 180–360 нм

Характеристика на данной длине волны (λ , нм)		Кристалл				
		SiC-6H	SiC-2H	SiC-15R	SiO ₂	Фианит
ρ_{180}^i , %	1978	58,0	52,0	48,0	22,0	37,0
	2001	58,2	52,2	47,8	21,8	37,2
ρ_{360}^i , %	1978	45,0	38,0	34,0	25,0	33,0
	2001	44,8	37,8	34,2	25,2	32,8
$P_{180}^i \times 10^2$		0,34	0,38	-0,41	-0,91	0,54
$P_{360}^i \times 10^2$		-0,45	-0,53	0,58	0,79	-0,61

ние и отражение – из фианита [12] (рис. 4) и карбида кремния [13–15] (рис. 5).

Описанные средства поверки для прибора ВМ-70 с целью выявления изменений их оптических характеристик аттестовывались регулярно с 1978 по 2001 гг. Каждое измерение коэффициента пропускания (τ) и коэффициента отражения (ρ) проводилось 5–10 раз. Относительная погрешность измерений образцов сравнения в диапазоне 180–360 нм составила не хуже 10^{-2} .

С той же погрешностью совпали результаты наших измерений Pd-комплекта ослабителей с результатами аттестации этого комплекта в области спектра 200–700 нм во Всесоюзном научно-иссле-

довательском институте метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ).

Примеры результатов измерений характеристик образцов сравнения приведены на рис. 2–5. Оценка стабильности характеристик комплекса ВМ-70 + комплект ослабителей по пропусканию характеризовалась для каждой длины волны коэффициентом спектрофотометрической стабильности по пропусканию K_{λ}^i :

$$K_{\lambda}^i = (\tau_{\lambda}^i - \tau_{0\lambda}^i) / \tau_{0\lambda}^i, \quad (1)$$

где τ_{λ}^i – значение коэффициента пропускания для i -го ослабителя, полученное в 2001 г; $\tau_{0\lambda}^i$ – то же в 1978 г.

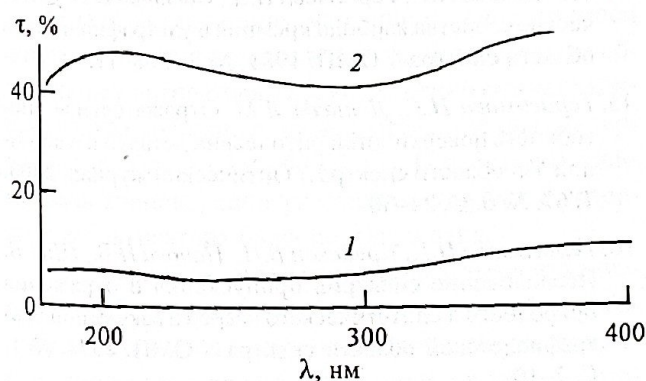


Рис. 3. Спектры пропускания образцов с пленками никеля на подложках CaF₂: № 1 (1), № 2 (2).

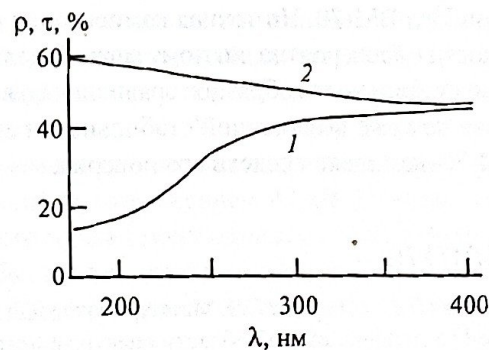


Рис. 4. Спектры пропускания и отражения кристаллов фианита. Образцы: по пропусканию № 1 (1) (толщина 2 мм), по отражению № 2 (2) при угле падения излучения 15° .

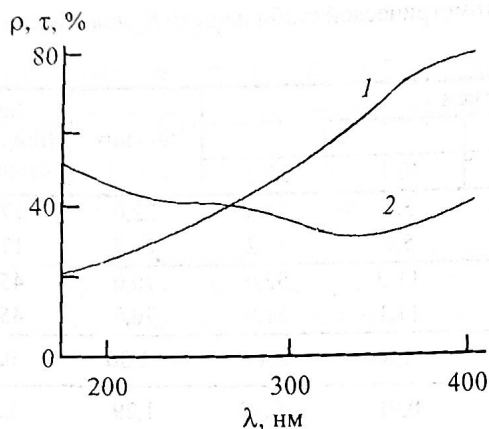


Рис. 5. Спектры пропускания и отражения кристаллов карбида кремния. Образцы: по пропусканию № 1 (1) (толщина 2 мм), по отражению № 2 (2) при угле падения излучения 15°.

Оценка стабильности коэффициентов отражения (P_{λ}^i) производилась аналогичным образом:

$$P_{\lambda}^i = (\rho_{\lambda}^i - \rho_{0\lambda}^i) / \rho_{0\lambda}^i, \quad (2)$$

где ρ_{λ}^i — значение коэффициента отражения для i -го ослабителя, полученное в 2001 г.; $\rho_{0\lambda}^i$ — то же в 1978 г.

Данные по измерению K и P для границ исследуемого спектрального интервала, приведенные в табл. 1 и 2, характерны для всех длин волн из этого интервала.

Выводы

Результаты исследования оптических характеристик комплектов средств поверки по пропусканию и отражению с помощью прибора ВМ-70 подтвердили их стабильность: изменение характеристик за 23 года не вышло за пределы относительной погрешности прибора $\sim 10^2$.

Разумеется, поскольку в наших экспериментах измерялась стабильность системы ВМ-70—образцы сравнения, возможны либо взаимная компенсация, либо сложение изменений одного знака, вызванных нестабильностью образцов сравнения и нестабильностью прибора ВМ-70. Но точная компенсация нестабильности маловероятна, поэтому можно сделать вывод, что стабильность образцов сравнения во всяком случае не хуже выявленной стабильности системы ВМ-70—комплекс средств его поверки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимова Н.Г., Старцев Г.П. Монохроматор для вакуумной ультрафиолетовой области спектра с метровой вогнутой дифракционной решеткой // ОМП. 1961. № 1. С. 30–33.

2. Герасимова Н.Г., Старцев Г.П. Вакуумный монохроматор ВМ-70 // ПТЭ. 1961. № 3. С. 127–129.
3. Герасимова Н.Г. Фотометрическая камера // А. с. № 544871. Бюлл. изобр. 1977. № 4. С. 110.
4. Герасимова Н.Г., Горбачева Н.А. Образцы сравнения для контроля спектрофотометров по пропусканию и отражению в ВУФ области спектра // Тез. докл. 6-й Всесоюз. конф. по физике вакуумного ультрафиолетового излучения и взаимодействию излучения с веществом. М.: Изд-во МГУ, 1982. С. 217.
5. Герасимова Н.Г., Богданов В.Г., Горбачева Н.А., Метельников А.А. Спектральные характеристики некоторых фильтров и пленок на поглощающих и отражающих подложках // ОМП. 1980. № 10. С. 16–19.
6. Герасимова Н.Г., Гусев Д.А., Старцев Г.П. Исследование условий возбуждения спектральных линий в вакуумной ультрафиолетовой области в трубке с накатанным полым катодом // ОМП. 1966. № 1. С. 17–20.
7. Шишацкая Л.П. Обзор. Источники вакуумного ультрафиолетового излучения непрерывного действия // ОМП. 1984. № 9. С. 54–59.
8. Герасимова Н.Г. Спектрофотометр ВМ-70 // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 3. С. 65–68.
9. Герасимова Н.Г., Гусев Д.А., Старцев Г.П. Исследование рассеянного света в вакуумном монохроматоре ВМ-70 с вогнутой дифракционной решеткой в области спектра 35–600 нм // ОМП. 1966. № 3. С. 25–28.
10. Герасимова Н.Г. Обзор. Рассеянный свет в вакуумных монохроматорах // ОМП. 1966. № 9. С. 44–55.
11. Герасимова Н.Г., Горбачева Н.А. Метрологические проблемы исследований в вакуумной ультрафиолетовой области спектра // XII Всеакадем. междунар. школа по проблеме метрологич. обеспечения и стандартизации. М.: РАН, 1995. С. 12–15.
12. Герасимова Н.Г., Горбачева Н.А. Пропускание и отражение фианитов в ВУФ области спектра // ОМП. 1988. № 4. С. 21–24.
13. Герасимова Н.Г., Богданов В.Г., Горбачева Н.А., Метельников А.А. Спектральные характеристики некоторых фильтров и пленок на поглощающих и отражающих подложках // ОМП. 1980. № 10. С. 16–19.
14. Герасимова Н.Г., Горбачева Н.А., Сагитов С.И. Оптические свойства карбида кремния в ультрафиолетовой области спектра // ОМП. 1981. № 5. С. 8–11.
15. Герасимова Н.Г., Денисов Л.М. Отражательная способность поверхностей оптических деталей в вакуумной УФ области спектра // Оптический журнал. 2000. Т. 67. № 6. С. 24–30.
16. Герасимова Н.Г., Крейскон В.Н., Панова Н.В., Шин В. Исследование спектров пропускания и отражения природного и синтетического кварца в вакуумной ультрафиолетовой области спектра // ОМП. 1973. № 1. С. 7–10.