

УДК 681.7.02

## Высококачественные оптические покрытия для видимой и ближней ИК-областей спектра, созданные на базе новых пленкообразующих материалов — дититаната гадолиния и дититаната лютеция

М. Ф. Васильева, А. К. Герасюк, А. И. Гоев, В. В. Потелов, Б. Н. Сеник, А. Б. Сухачев  
ФНПЦ ОАО "Красногорский завод им. С. А. Зверева", г. Красногорск, Московская обл., Россия

Б. М. Жигарновский, В. В. Кириленко  
НТЦ "Спектр" РАН АИН РФ, Москва, Россия

А. В. Ноздрачев  
Счетная палата РФ, Москва, Россия

*Представлены развернутые эксплуатационные и спектральные характеристики новых пленкообразующих материалов дититаната гадолиния ( $Gd_2Ti_2O_7$ ) и лютеция ( $Lu_2Ti_2O_7$ ). Проведены технологические сравнения с традиционным материалом  $TiO_2$  и сделаны выводы о преимуществах применения новых композиционных материалов (КМ) для нанесения просветляющих ахроматических покрытий в опытно-серийном производстве оптических деталей современного приборостроения.*

Тонкопленочные оптические покрытия успешно используются в оптическом, научном и медицинском приборостроении. Число оптических элементов, на которые наносятся специальные оптические покрытия, непрерывно возрастает. Современные высокие технологии получения этих покрытий обеспечивают высокий уровень качества выпускаемой продукции. В многочисленных публикациях, посвященных изготовлению оптических элементов [1—18], указывается, что одним из основных факторов, влияющих на качество покрытий и на ход вакуумных технологических процессов, является фактор состава и качества пленкообразующих материалов, используемых для нанесения оптических покрытий.

Известно, что номенклатура веществ, применяемых для производства тонкопленочных покрытий, достаточно велика и в настоящее время имеет тенденцию к расширению. Наряду с однокомпонентными материалами все большее применение находят смеси веществ и твердые растворы на их основе. Переход от индивидуальных веществ к их композициям обусловлен, во-первых, тем, что индивидуальные (однокомпонентные) вещества образуют ограниченный ряд по показателям преломления, не удовлетворяющий разработчиков покрытий, во-вторых, индивидуальные вещества, как правило, образуют пленки нестехиометрического состава, обладающие большей пористостью, а следовательно, и нестабильные во времени [3, 14, 15].

Анализируя термодинамические свойства индивидуальных оксидов, широко применяемых в качестве веществ с высоким показателем преломления, можно показать, что с позиции воспроиз-

водимости процесса наиболее предпочтительным является применение оксидов титана и гадолиния, а не циркония, который до настоящего времени используется весьма широко [17, 18].

Работы по изготовлению различных смесей из твердых растворов на основе оксидов металлов + окислы редкоземельных элементов (РЗЭ) проведены Научно-технологическим центром "Спектр" РАН и АИН РФ в рамках цикла научно-исследовательских работ "Фундаментальные и поисковые исследования по созданию новых пленкообразующих материалов на основе сложных оксидов и фторидов металлов для вакуумного напыления".

Разработчики различных пленкообразующих материалов, которые традиционно используются в вакуумном опытно-серийном производстве, а это прежде всего оксиды металлов  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $HO_2$ , отметили, что получение покрытий из таких материалов связано с определенными трудностями, так как в большинстве случаев оксиды металлов испаряются с диссоциацией, интенсивно взаимодействуют с материалом испарителя, имеют фазовые переходы и пр. [16, 17].

В целях стабилизации и повышения оптических и эксплуатационных характеристик оптических покрытий из КМ была разработана методика расчета энергии взаимодействия типа  $M^{2x}-O^{2x}$ , позволяющая с достаточной степенью достоверности предсказать характер испарения сложнооксидных соединений и ориентировочный состав получаемых покрытий.

Из многочисленных представленных разработок КМ наибольший интерес представляют новые

сложнооксидные соединения на основе диоксида титана  $TiO_2$ , поскольку традиционный диоксид титана является одним из наиболее распространенных материалов с высоким показателем преломления, который широко используется для покрытий, работающих в видимой и ближней ИК-областях спектра.

Пленки диоксида титана  $TiO_2$  получают обычно методом электронно-лучевого испарения при температуре 1750—1850 °С или методом ионно-плазменного распыления [1, 4, 18]. Область прозрачности тонких пленок  $TiO_2$  находится в диапазоне длин волн 0,35—11,2 мкм, однако применение их в области длин волн 3,0—3,5 мкм затруднено ввиду резкого повышения светорассеяния слоев с ростом толщины из-за развивающегося процесса роста кристаллов [3, 15]. Получение прозрачных пленок  $TiO_2$  методом резистивного испарения довольно трудно из-за диссоциации материала, что ведет к увеличению поглощения в получаемых пленках и "дрейфу" показателя преломления [14, 18].

Единственно надежным методом получения высококачественных пленок  $TiO_2$  является реактивное распыление. Это означает, что для получения стехиометрических пленок  $TiO_2$  в вакуумную камеру нужно подавать молекулярный или ионизированный кислород, что весьма усложняет технологический процесс, лишая его стабильности.

Для обеспечения стабильности и воспроизводимости технологических процессов нанесения пленок были проведены исследовательские и экспериментальные работы по созданию КМ с показателем преломления  $\sim 2,0$  или большим, свободных от технологических недостатков, присущих пленкам  $TiO_2$ .

Коллективом разработчиков НТЦ "Спектр" РАН и АИН РФ были предложены новые типы пленкообразующих в КМ на основе традиционного диоксида титана, стабилизированного оксидами РЗЭ. Результаты исследований показали, что улучшение прочностных характеристик, адгезии, стабильности показателя преломления происходят в пленках, полученных из КМ, легированных именно РЗЭ [10, 12].

Для создания КМ на основе  $TiO_2$  были выбраны наиболее исследованные оксиды РЗЭ — это оксид гадолиния  $GdO_2$  и оксид лютеция  $LuO_2$  [9, 11].

Коллективом НТЦ "Спектр" РАН и АИН РФ представлены также уникальные методики получения новых пленкообразующих материалов. Разработаны метод синтеза дититаната гадолиния  $Gd_2Ti_2O_7$  (соосаждение, криотехнология, механоактивизация и механосинтез) и синтез  $Gd_2Ti_2O_7$  со структурой пирохлора методом механоактивации с использованием различных реагентов.

Криохимический метод синтеза дититаната лютеция  $Lu_2Ti_2O_7$  позволил более чем на 400—500 °С снизить температуру кристаллизации и, соответственно, значительно уменьшить температуру получения пленкообразующих материалов [9, 13, 14].

Физико-химические свойства соединений  $Ln_2Ti_2O_7$  (РЗЭ = La—Lu, Y) и твердых растворов представлены в табл. 1.

Следует отметить, что исследование новых пленкообразующих материалов (ПОМ) дититанатов гадолиния  $Gd_2Ti_2O_7$  и лютеция  $Lu_2Ti_2O_7$  и сравнение их функциональных технологических свойств с традиционным диоксидом титана  $TiO_2$  проведено коллективом исполнителей опытно-экспериментального производства ФНПЦ ОАО "Красногорский завод им. С. А. Зверева".

Таблица 1

РЗЭ	$a$ , А	Плотность, г/см <sup>3</sup>		$T_f$ , °С	Микротвердость, кг/мм <sup>2</sup>		Коэффициент линейного термического расширения $\alpha \cdot 10^6$ , К <sup>-1</sup> (20—900 °С)	Показатель преломления
La	—	5,71	—	1650	400	—	9,46	—
Pr	—	—	5,73	1560	—	648	—	—
Nd	—	5,77	6,10	1650	—	712	9,80	—
Sm	10,211	6,06	6,20	1630	850	1103	10,16	2,21
Eu	10,192	—	6,29	1650	720	1104	10,70	2,17
Gd	10,171	6,41	6,50	1740	720	1114	10,29	2,36
Tb	10,148	6,00	6,59	—	780	1122	10,35	2,38
Dy	10,119	6,00	6,76	1730	720	1152	10,31	2,39
Ho	10,095	6,00	6,81	1820	660	1198	10,25	2,41
Er	10,060	6,00	6,91	1780	850	1202	10,66	2,47
Tm	10,041	6,00	7,07	1820	1030	1232	10,41	2,48
Yb	9,998	7,12	7,21	1890	1140	1264	10,9	2,51
Lu	9,995	—	7,27	—	—	1293	9,87	2,57
Y	10,066	4,66	4,83	2000	—	1099	10,46	2,34

Покрyтия из основных ПОМ изготовлялись на вакуумных установках ВУ-1А и ВУ-2М методом электронно-лучевого испарения. Основные параметры технологического процесса испарения новых ПОМ и традиционного TiO<sub>2</sub> представлены в табл. 2, из нее видно, что новые ПОМ имеют те же технологические режимы, что и традиционный TiO<sub>2</sub>.

Дальнейшие исследования показали, что оптические пленки из новых материалов Gd<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> и Lu<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> обладают высоким показателем преломления  $nd \approx 2,1$ , стабильностью в процессе испарения и, что очень важно, весьма малым коэффициентом поглощения  $K \approx 0,0001$  в видимой области спектра [6, 14].

Установлено, что показатель преломления пленок из ПОМ (Gd<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> и Lu<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) слабо зависит от температуры подложки, давления кислорода в вакуумной камере и скорости нанесения слоев. Зависимость показателя преломления пленок Gd<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> и Lu<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> от температуры подложки приведена в табл. 3.

Зависимость показателя преломления пленок Gd<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> и Lu<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> от скорости нанесения при  $\lambda_k = 530$  нм приведена в табл. 4.

Важно подчеркнуть, что пленки из Gd<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> имеют высокую механическую прочность — 1-ю группу по ОСТ 3-1901—85.

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что новые КМ показали высокую воспроизводи-

мость по показателю преломления, стабильный характер испарения, высокие эксплуатационные параметры, т. е. они свободны от основных недостатков традиционного TiO<sub>2</sub>.

Перечисленные достоинства новых КМ позволяют рекомендовать их для применения в технологических процессах, где необходима точность поддержания заданного показателя преломления, как, например, при изготовлении ахроматических просветляющих покрытий.

Ахроматические просветляющие покрытия применяются для просветления оптических деталей приборов, работающих в видимой и ближней ИК-областях спектра. Подобные покрытия применяются в изделиях кино-фотоаппаратуры, медицинских приборах, разнообразных визирных системах наблюдения, приборах научного исследования, в приборах ночного видения и пр.

В связи с широким спектром применения ахроматических проставляющих покрытий в современном оптическом приборостроении к ним предъявляются жесткие требования в части оптических характеристик и эксплуатационных свойств. Они должны обладать низким уровнем коэффициента отражения  $R \leq 0,5 \%$  в интервале длин волн 420—650 нм, высокой механической, коррозионной и термической прочностью, а также быть пригодными для использования в серийном производстве. Известны ахроматические просветляющие покрытия, содержащие 3—7 слоев, оптические тол-

Таблица 2

Материал	Оборудование	Способ нанесения покрытия	Режимы нанесения покрытий		
			ток эмиссии, мА	давление в вакуумной камере, мм рт. ст.	скорость испарения, нм/мин
TiO <sub>2</sub>	ВУ-1А	ЭЛИ	80—110	$(4—5) \cdot 10^{-5}$	40—45
Gd <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	ВУ-1А	ЭЛИ	80—120	$(4—5) \cdot 10^{-5}$	30—40
Lu <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	ВУ-1А	ЭЛИ	80—120	$(4—5) \cdot 10^{-5}$	30—40

Таблица 3

Температура подложки, °С	Показатель преломления пленки		
	TiO <sub>2</sub>	Gd <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Lu <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
200	2,30	2,10	2,05
250	2,33	2,10	2,10
300	2,38	2,10	2,10
350	2,44	2,15	2,10
400	2,50	2,15	2,15
450	2,52	2,15	2,15

Таблица 4

Скорость нанесения, мкм/с	Показатель преломления пленки		
	TiO <sub>2</sub>	Gd <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Lu <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
20	2,26	2,1	2,05
40	2,31	2,1	2,10
50	2,35	2,15	2,10
60	2,50	2,15	2,10

щины которых кратны  $\lambda_0/4$  ( $\lambda_0$  — произвольная контрольная постоянная). Такие покрытия обладают хорошими оптическими свойствами [8, 18]. Однако им присущ ряд недостатков, делающих нежелательным применение данных покрытий в серийном производстве.

Во-первых, для создания покрытий необходимо три и более типа веществ с различными показателями преломления.

Во-вторых, для обеспечения удовлетворительных оптических характеристик в качестве одного из материалов применяется фтористый магний, что обуславливает необходимость нагрева оптических деталей до  $T = 300$  °С. Нагрев деталей в свою очередь приводит к увеличению продолжительности цикла изготовления деталей и ухудшению качества оптических поверхностей (особенно "нестойких" стекол), а также к большим затруднени-

ям в случае просветления крупногабаритных образцов.

Наиболее эффективный путь решения проблемы, устраняющей перечисленные недостатки, — применение новых КМ: дититанатов лютеция  $\text{Lu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  и гадолия  $\text{Gd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  и со стабильными показателями преломления  $\eta d \approx 1,95$ — $2,1$ .

В табл. 5 представлены режимы нанесения пленок ахроматических просветляющих покрытий с новыми и традиционными материалами.

Были рассчитаны и изготовлены ахроматические покрытия с применением в качестве полуволнового  $nh = 0,5 \lambda_0$  слоя КМ  $\text{Gd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  и  $\text{Lu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ . Проведено сравнение полученных результатов с серийными ахроматическими покрытиями.

На рис. 1—5 даны сравнительные характеристики спектрального отражения серийных и экспериментально изготовленных ахроматических покрытий для некоторых марок стекол.

Таблица 5

Оборудование	Способ нанесения покрытия	Вид покрытия	Номер слоя от подложки	Материал	Толщина слоя, $n \cdot h$	Показатель преломления слоя	Режим нанесения покрытия			Примечания
							ток эмиссии, мА	давление, Па	скорость нанесения слоя, нм/мин	
ВУ-2М	ЭЛИ	Двухслойное	1	$\text{ZrO}_2$	$0,5 \lambda_0$	1,95	80—100	$(2-5) \cdot 10^{-3}$	40—50	Серийное производство
ВУ-1А				$\text{Lu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$	$0,5 \lambda_0$	2,15	90—120	$(5-8) \cdot 10^{-3}$	30—40	Эксперимент. изготовление
ВУ-2М ВУ-1А			2	$\text{MgF}_2$	$0,25 \lambda_0$	1,38	60—70	$(2-6) \cdot 10^{-3}$	45—55	Серийное производство
ВУ-2М ВУ-1А	ЭЛИ	Трехслойное	1	$\text{CeF}_3$	$0,25 \lambda_0$	1,65	80—100	$(2-6) \cdot 10^{-3}$	30—40	То же
ВУ-2М				$\text{ZrO}_2$	$0,5 \lambda_0$	1,95	80—100	$(2-5) \cdot 10^{-3}$	40—50	
ВУ-1А			2	$\text{Lu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$	$0,5 \lambda_0$	2,15	90—120	$(5-8) \cdot 10^{-3}$	30—40	Эксперимент. изготовление
ВУ-2М ВУ-1А			3	$\text{MgF}_2$	$0,25 \lambda_0$	1,38	60—70	$(2-6) \cdot 10^{-3}$	45—55	Серийное производство

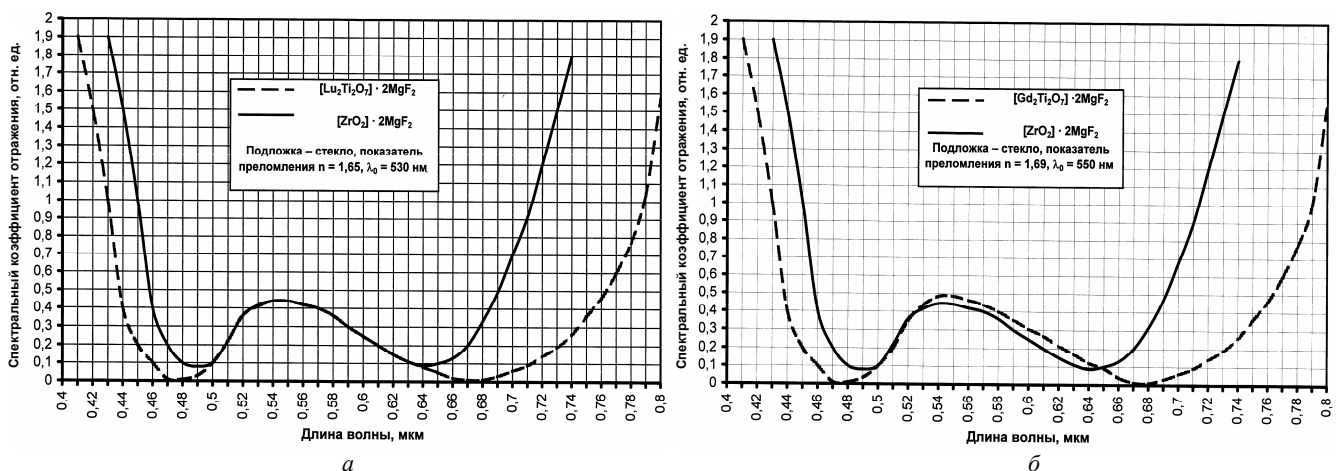


Рис. 1. Спектральный коэффициент отражения двухслойных просветляющих покрытий с использованием: а — дититаната лютеция ( $[\text{Lu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7] \cdot 2\text{MgF}_2$ ); б — дититаната гадолия ( $[\text{Gd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7] \cdot 2\text{MgF}_2$ )

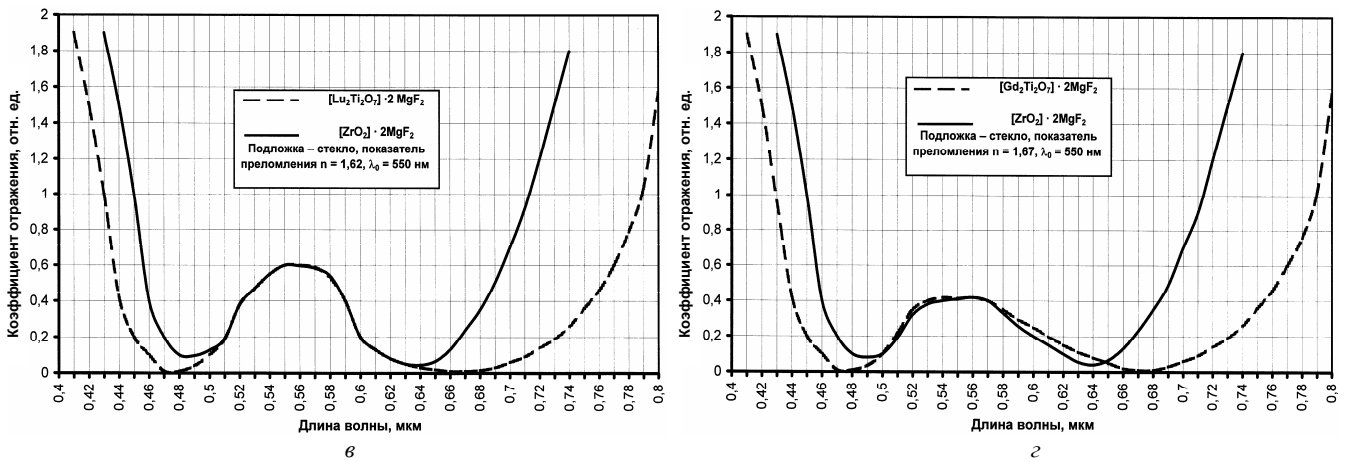


Рис. 1. Спектральный коэффициент отражения двухслойных просветляющих покрытий с использованием (окончание):  
 в — дититаната лютеция ( $[Lu_2Ti_2O_7] \cdot 2MgF_2$ ); з — дититаната гадолиния ( $[Gd_2Ti_2O_7] \cdot 2MgF_2$ )

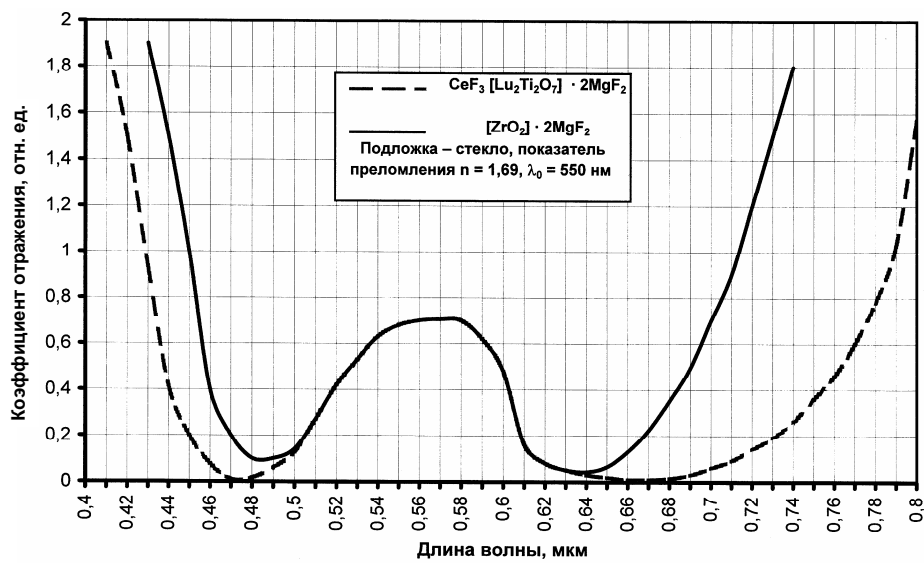


Рис. 2. Спектральный коэффициент отражения трехслойных просветляющих покрытий  
 вида  $CeF_3 [Lu_2Ti_2O_7] \cdot 2MgF_2$  и  $CeF_3 [ZrO_2] \cdot 2MgF_2$

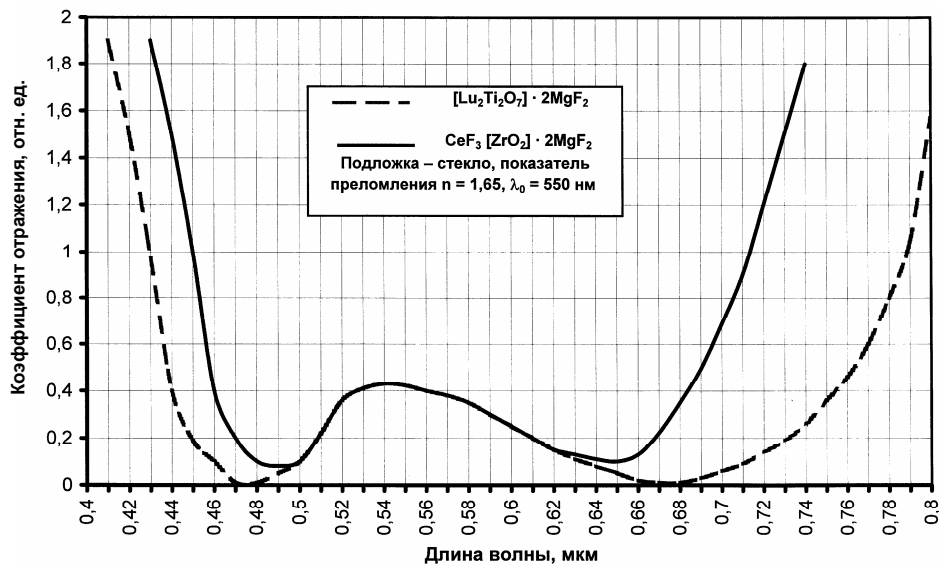


Рис. 3. Спектральный коэффициент отражения просветляющих покрытий: трехслойного вида  $CeF_3 [ZrO_2] \cdot 2MgF_2$  и двухслойного с использованием дититаната гадолиния ( $[Gd_2Ti_2O_7] \cdot 2MgF_2$ )

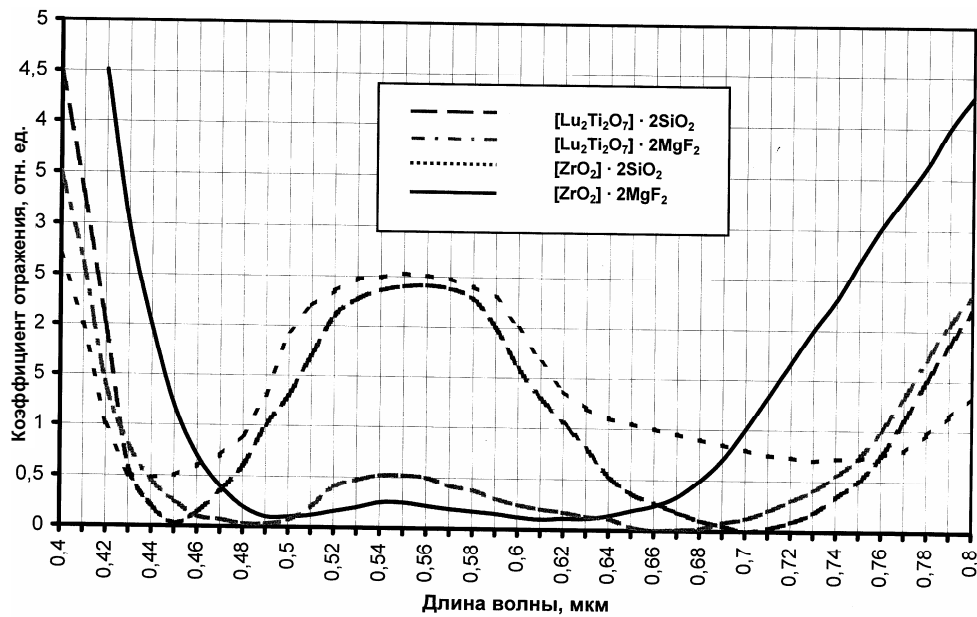


Рис. 4. Спектральная характеристика отражения двухслойного ахроматического просветляющего покрытия в зависимости от применяемых материалов

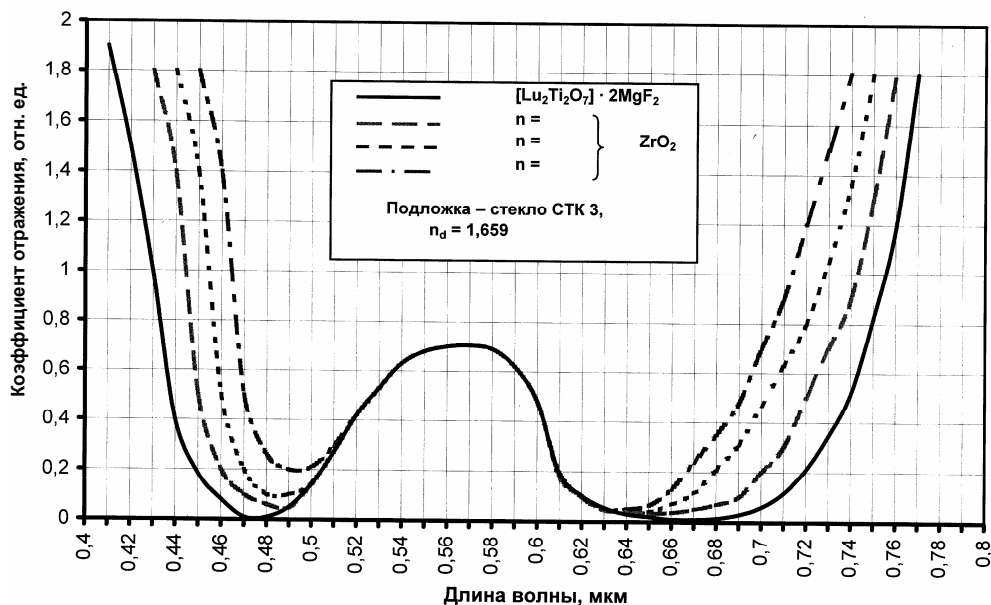


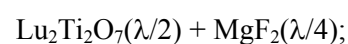
Рис. 5. Зависимость спектрального отражения трехслойного ахроматического просветляющего покрытия от изменения показателя преломления  $ZrO_2$  при  $nh = 0,5\lambda_0$  на стекле СТК 3,  $n_d = 1,659$  (объектив "Зенитар МС 2/50") и спектрального отражения от пленки с материалом  $Lu_2Ti_2O_7$  в качестве среднего слоя

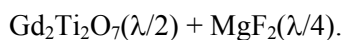
Механическая прочность экспериментальных покрытий к истиранию проверена на приборе СМ-55 и соответствует 1-й группе прочности по ОСТ 3-1901—85.

Анализируя вышеизложенное, следует отметить еще одно важное преимущество просветляющих покрытий с новыми ПОМ — повышение выхода годных деталей из-за сокращения уровня ошибок при нанесении слоев. Дело в том, что фотометрический контроль равнотолщинных слоев (кратных  $\lambda_0/4$ ) ведется по экстремальной точке — максимуму интенсивности отраженного света. Так, при фиксации второго экстремума (два слоя)

точность нанесения оптического слоя значительно падает.

Таким образом, если рассматривать традиционное ахроматическое просветляющее покрытие, имеющее структуру трех слоев  $CeF_3(\lambda/4) + ZrO_2(\lambda/2) + MgF_2(\lambda/4)$ , то суммарная ошибка в нанесении слоев может составить величину  $\pm 12$  мкм. В целях минимизации ошибок процесса нанесения слоев был осуществлен расчет и проведена технологическая апробация двухслойных конструкций





Реализация предложенных двухслойных конструкций осуществляется уже с ошибкой не более  $\pm 6$  мкм, что является приемлемой величиной для промышленного процесса. Применение новых КМ дополнительно увеличивает воспроизводимость за счет уменьшения числа слоев и сокращает цикл технологического процесса нанесения слоев.

Зависимости спектрального коэффициента отражения просветляющих покрытий от длины волны при применении различных материалов и различного числа слоев приведены на рис. 3—5.

### Заключение

Анализ современного состояния технологии нанесения оптических просветляющих покрытий и накопленный опыт их изготовления показали, что отдельные проблемы обеспечения высокого качества тонкопленочных покрытий могут быть эффективно решены путем использования и дальнейшего внедрения в производство новых композиционных пленкообразующих материалов. В настоящей работе рассмотрены и исследованы новые КМ дититанаты лутетия и гадолиния, разработанные Научно-технологическим центром "Спектр" РАН и АИН РФ.

Отмечено, что оптические пленки из новых материалов обладают высокой механической и эксплуатационной стойкостью. Технологические процессы испарения новых материалов  $\text{Lu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  и  $\text{Gd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  идентичны традиционным процессам, применяемым для  $\text{TiO}_2$ , однако отличаются повышенной стабильностью и воспроизводимостью. Внедрение вышеуказанных материалов на предприятии ФНПЦ ОАО "Красногорский завод им. С. А. Зверева" для нанесения ахроматических просветляющих покрытий оптических элементов в изделиях гражданского назначения (фотоаппаратах, приборах ночного видения) обеспечило стабильность и воспроизводимость технологического процесса. Дититанат гадолиния  $\text{Gd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  и дититанат лутетия  $\text{Lu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  могут быть рекомендованы для серийного применения в качестве просветляющих покрытий для видимой области спектра (420—650 мкм) в визирных системах современных оптико-электронных приборов.

### Литература

1. Pummer Э. Пленочные диэлектрические материалы для оптических применений//Физика тонких пленок. — М.: Мир, 1978. Т. 8. С. 60—70.
2. Холланд Л. Нанесение тонких пленок в вакууме. — М.: Госэнергоиздательство, 1965. С. 525—582.
3. Pulker H. K. Characterisation of optical thin films// Applied Optics, 1979. V. 12. № 12. P. 1969—1975.
4. Ritter E., Hoffman R.//J. Vac Technol, 1969. V. 6. P. 733.
5. Крылова Т. Н. Интерференционные покрытия. — Л.: Машиностроение, 1973. С. 53, 84.
6. Ляшенко Л. П., Щербакова Л. Г., Глушкова В. Б., Татарицев В. М. Изучение взаимодействия РЗЭ и  $\text{TiO}_2$  при высоких температурах//Доклад АН СССР. 1977. Т. 232. № 1. С. 73—74.
7. Фурман Ш. А.//Оптика и спектроскопия. 1981. Т. 50. С. 101—103.
8. Введенский В. Д., Мешельников А. А., Фурман Ш. А.//ОМП. 1980. № 3. С. 32.
9. Сыч А. М., Новик Т. В. Исследования взаимодействия совместноосажденных гидроксидов РЗЭ и титана//ЖНХ, 1987. Т. 22. С. 68.
10. Арсеньев П. А., Ковба Л. М., Багдасарев Х. С. и др. Соединения редкоземельных элементов. Системы с оксидами элементов I—II групп. — М.: Наука, 1983. С. 280.
11. Waring J. L., Schneider S. L. Phase equilibrium relationships in the system  $\text{Ln}_2\text{O}_3$  ( $\text{Gd}_2\text{O}_3$ )— $\text{TiO}_2$ //J. Res. Nat. Buz. Stand. A. 1965. V. 69. № 3. P. 255—259.
12. Колесников А. В. Фазаобразование в системах оксидов титана, циркония и гафния с оксидами редкоземельных элементов в условиях ударно-волнового воздействия: Дис... канд. хим. наук. — Черноголовка, 1981. С. 76—82.
13. Колесников А. И., Щербакова Л. Г., Бреусов Л. Н. Изучение фазаобразования в системе  $\text{TiO}_2$ — $\text{Sm}_2\text{O}_3$  методом ударно-волнового синтеза//Изв. АН СССР. Сер. Неорг. матер. 1988. Т. 24. № 5. С. 800—820.
14. Фундаментальные и поисковые исследования по созданию новых пленкообразующих материалов на основе сложных оксидов и фторидов металлов для вакуумного напыления: Отчет НИР/А. М. Прохоров, Ю. В. Гуляев. — М.: АН РФ, АИН РФ. 2003. Т. I. С. 12—14; Т. II. С. 85—86; Т. III. С. 95—103.
15. Babuji, Radhakrishna S. Optical of titanium oxide thin films//J. Mater. Sci Lett. 1985. V. 4. № 6. P. 767—769.
16. Казенас Е. К., Цветков Ю. В. Испарение оксидов. — М.: Наука, 1997. С. 285, 286.
17. Казенас Е. К., Самойлова О. Н., Петров А. А. Масс-спектрометрическое исследование процессов испарения и диссоциации оксидов титана, циркония и гафния. — М., 1989. — 15 с. Деп. в ВИНТИ. 3.11.89 № 6674—В 89.
18. Введенский В. Д., Фурман Ш. А. Нанесение тонкопленочных интерференционных покрытий в вакууме. — Л.: ЛДНТП, 1983. С. 3, 8—10.

Статья поступила в редакцию 22 декабря 2006 г.

## High-quality optical coverings for visible and near IR-areas of the spectrum, which was created on the basis of new film-forming materials — titanate gadolinium and titanate lutetium

M. F. Vasileva, A. K. Gerasjuk, A. I. Goey, V. V. Potelov, B. N. Senik, A. B. Suhachev  
FSPC "S. A. Zverev KRASNOGORSKY ZAVOD" jsc, Krasnogorsk, the Moscow region, Russia

*B. M. Jigarnovsky, V. V. Kirilenko*

Scientific and Technological Centre "Spectrum" of Russian Academy of Science AIN of the Russian Federation, Moscow, Russia

*A. V. Nozdrachev*

The Accounting Chamber, Moscow, Russia

*Functionally qualitative level optico-electronic devices and complexes in many respects depend from clarifying, reflective, spectrodiving and other kinds of coverings, which are used in optical systems. Prospect of industrial development of coverings of new generation gradient optical coverings and the thick correctional layers, which are capable to change a course of rays in the optical sphere, demand synthesis and fundamentally new film-forming materials. It is developed scientifically — the technical center "Spectrum" of Russian Academy of Science AIN of the Russian Federation and approved at FSPC "S. A. Zverev KRASNOGORSKY ZAVOD" jsc and it can be recommended for the decision of the above-stated problems. The optical coverings are made with application of titanate gadolinium  $Gd_2Ti_2O_7$  and titanate lutecium  $Lu_2Ti_2O_7$ , they differ by the higher optical parameters in comparison with standard, and also they possess high mechanical radial and thermal stability.*

УДК 539.4.015: 661.1.053.5

## **Исследование процесса полирования поликристаллических халькогенидов цинка с использованием смол**

*О. В. Тимофеев, Е. Ю. Вилкова, В. А. Шихов*

Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия

*С. Р. Кушнир, Б. А. Радбиль*

ООО «Научно-внедренческая фирма "Лесма"», Нижний Новгород, Россия

*Исследован процесс механического полирования халькогенидов цинка с использованием полировальных и наклеечных смол на основе канифоли, имеющих различные характеристики. Изучено влияние температуры размягчения полировальной смолы на скорость съема и оптические характеристики поверхности CVD-селенида и сульфида цинка.*

Поликристаллические халькогениды цинка применяют в силовой и ИК-оптике, для изготовления выходных окон, фокусирующих линз, делительных пластин, а также призм и полупрозрачных зеркал. Одна из важнейших задач технологии изготовления оптических элементов — получение высококачественной поверхности, свободной от загрязнений и совершенной по геометрии, морфологии и чистоте. Состояние и качество оптических элементов в значительной степени определяются эффективностью заключительных операций в технологическом процессе их изготовления. К ним, в частности, относится механическое и химико-механическое полирование (ХМП). В процессе обработки на скорость удаления материала с поверхности оказывают одновременное влияние сразу несколько факторов: тип и концентрация химически активного компонента, давление на обрабатываемую поверхность, материал полировальной

подложки, температура в зоне обработки, исходная шероховатость поверхности и время обработки.

Таким образом, работу по отработке технологии полирования поликристаллического селенида цинка можно разбить на несколько подзадач:

- выбор оптимальных режимов обработки (давление, температура, время, скорости вращения и качания инструмента) [1];
- подбор материалов для полирования селенида цинка с учетом особенностей обрабатываемых поверхностей (микророшки, смолы полировальные и наклеечные);
- проведение исследований по подбору оптимального типа и концентрации химически активного компонента.

Основным материалом, применяемым при полировании оптических деталей из стекла, являются канифольные смолы [2]. Использование живичной канифоли при полировании оптических эле