

beam control device can be used in all systems that require high speed control, accuracy of positioning, reliability and other.

Acknowledgement

This research is funded by the European Social Fund under project "Microsensors, microactuators and controllers for mechatronic systems (Go-Smart)" (Agreement No. VPI-3.1-ŠMM-08-K-01-015).

1. A. Agneni, F. Mastroddi, G.M. Polli, "Shunted piezoelectric patches in elastic and aeroelastic vibrations", Pergamon, Science Direct, Computers and Structures 81 (2003) 91–105, 2002.
2. Vinod R Challa, M G Prasad, Yong Shi and Frank T Fisher, A vibration energy harvesting device with bidirectional resonance frequency

tunability. Smart Mater. Struct. 17 (2008) 015035.

3. Donoso A, Sigmund O. Optimization of piezoelectric bimorph actuators with active damping for static and dynamic loads, E.T.S. Ingenieros Industriales Universidad de Castilla - La Mancha 13071 Ciudad Real, March 2007.
4. DONG S., BOUCHILLOUX P., DU X., UCHINO K.: Ring Type Uni/BiMorph Piezoelectric Actuators, International Center for Actuators and Transducers, Materials Research Institute, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, USA.
5. WANG Q., DU X., XU B., CROSS L.: "Electromechanical coupling and output efficiency of piezoelectric bending actuators" IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferro. and Freq. Control, vol.46, May 1999, pp. 638-646.

УДК 681.7.015.2+535.317

КОРРЕКЦИЯ ХРОМАТИЗМА И АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ИК ОБЪЕКТИВАХ

Артюхина Н.К., Батура И. Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В последнее время значительно возросло применение инфракрасного (ИК) излучения в различных областях техники. Многие важнейшие детали и узлы в ИК приборах сделаны из оптических материалов [1]. Эти материалы должны удовлетворять ряду жестких эксплуатационных требований, таких, как достаточная прозрачность в рабочем спектральном диапазоне спектра, хорошая обрабатываемость и негигроскопичность, прочность и т.д.

Вопросам анализа материалов для различных диапазонов ИК спектрального диапазона посвящен ряд работ: в [2] обобщены результаты исследований различных физико-химических свойств оптических материалов для ИК области; в [3] рассмотрены вопросы выбора оптических материалов при расчете двухлинзовых объективов для определенных спектральных окон ИК области и проанализированы вопросы выбора комбинаций оптических материалов при расчете двухлинзовых склеенных и несклеенных объективов в ближней ИК области.

Коррекция хроматизма в оптических системах, работающих в том или ином ИК спектральном диапазоне, бывает весьма затруднительна ввиду небольшого выбора оптических материалов, прозрачных в этом диапазоне. Обычно оптические стекла практически непро-

зрачны в области длин волн свыше 2,5 мкм, в средних диапазонах ИК области применяются оптические кристаллы и специальные марки стекол. Различие оптических диапазонов работы обуславливает необходимость самостоятельного решения выбора оптических материалов и аберрационного расчета в каждом конкретном случае при заданных параметрах ТЗ.

В настоящей работе для сравнительного анализа оптических материалов по величине спектрального пропускания были использованы характеристики спектрального пропускания ряда материалов для определенных толщин образцов материалов [2] (без применения просветления) при учете прозрачности в заданном диапазоне ($\lambda = 1,8-3,5$ мкм). При величине коэффициента пропускания $\tau = 70\%$ могут быть применены все приведенные материалы, приведенные в табл. 1, кроме As(Se) и Иртран-2. Для увеличения коэффициента пропускания таких материалов, как Si, Ge можно использовать просветляющие покрытия.

На рис. 1 представлена зависимость относительной частной дисперсии $\gamma = f(\nu)$ от коэффициента дисперсии V . Разброс в значениях показателя преломления n значителен (от 1,4 у LiF до 4,1 у Ge), причем крутизна зависимости $n = f(\lambda)$ не только отличается для различ-

ных материалов, но и для одного материала она меняет свое значение на протяжении диапазона. Этим объясняется существенное различие значений ν у всех материалов, а также значительное отличие величин ν у одного и того же материала в различных диапазонах длин волн. Например, для CaF_2 величина ν для диапазонов 1,8–3,5 мкм и 1,2–5,5 мкм (при значениях средних длин волн 2,6 и 4,0 мкм), составляет 38,94 и 11,60).

Таблица 1 – Оптические постоянные ($\lambda = 1,8\text{--}3,5$ мкм)

Материал	$n_{2,6}$	$n_{1,8}$ $n_{2,6}$	$\nu = \frac{n_{2,6} - n_{1,8}}{n_{1,8} - n_{1,8}}$	$\gamma = \frac{n_{2,6} - n_{1,8}}{n_{1,8} - n_{1,8}}$
Иртра н-1	1,36 75	0,01 45	25,85	0,6069
LiF	1,37 20	0,02 19	16,99	0,6073
CaF_2	1,42 05	0,01 08	38,94	0,5926
SiO_2 (плав.)	1,42 79	0,03 50	12,23	0,6257
BaF_2	1,46 25	0,00 60	77,08	0,5500
KCl	1,47 42	0,00 27	175,63	0,4815
NaCl	1,52 53	0,00 41	128,12	0,5122
KBr	1,53 71	0,00 27	198,93	0,3704
CsBr	1,67 00	0,00 28	239,29	0,5000
Al_2O_3	1,72 30	0,04 64	15,58	0,5991
CsI	1,74 45	0,00 37	201,22	0,2973
AgCl	2,00 35	0,00 65	154,38	0,3846
KRS-6	2,20 11	0,01 14	105,36	0,3421
Иртра н-2	2,25 82	0,01 30	96,79	0,3923
KRS-5	2,38 86	0,01 57	88,45	0,3248
As_2S_3	2,42 05	0,01 72	82,59	0,4302
As(Se)	2,49 17	0,02 09	71,37	0,2967
Si	3,43 79	0,03 31	73,65	0,2870
Ge	4,06 8	0,11 1	27,64	0,3243

Кроме сравнительного анализа оптических материалов по величине спектрального пропускания, были рассмотрены вопросы выбора материалов при расчете ИК объективов для диапазона длин волн $\lambda = 1,8\text{--}3,5$ мкм.

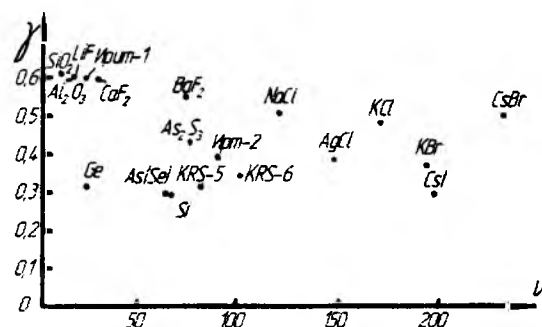


Рис. 1.

Оптические силы линз ахроматического двухлинзового объектива равны:

$$\varphi_1 = \frac{\nu_1}{\nu_1 - \nu_2}; \quad \varphi_2 = 1 - \varphi_1,$$

где ν_1 и ν_2 – коэффициенты дисперсии материалов линз объектива. Величина вторичного спектра такого объектива будет пропорциональна величине $\frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\nu_2 - \nu_1}$ для пары выбранных материалов,

т.е. тангенсу угла наклона прямой, соединяющей точки, соответствующие паре выбранных материалов, с осью абсцисс. У объектива будет отсутствовать вторичный спектр, если эта прямая будет параллельна оси абсцисс ($\gamma_1 = \gamma_2$). По рис. 1 и табл. 1 можно судить, что таких материалов нет (лишь LiF и Иртра-1 имеют близкие значения γ). Остальные пары материалов дают совершенно различные значения величины вторичного спектра (положительного или отрицательного знака). Для оценки остаточной хроматической аберрации двухлинзового ахромата были рассчитаны отношения разности частных дисперсий и разности коэффициентов дисперсии для всех возможных комбинаций марок материалов в диапазоне $\lambda = 1,8\text{--}3,5$ мкм. Умножая значение $\frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\nu_2 - \nu_1}$ на величину $-\frac{S'^2}{f'}$ [f' – фокусное расстояние, S' – задний отрезок объектива), легко получить величину вторичного спектра объектива.

Практически, рис. 1 представляет диаграмму для выбора пары материалов с допустимым значением величины вторичного спектра, например: LiF-Upm-1; Si-CsI; AgCl-Upm-2; CaF_2 -CsBr; Ge-KRS-5.

Для выбора подходящих пар двухлинзового ахромата играет роль значения ($\nu_{11} - \nu_{21}$), так как

от этого зависит величина оптических сил компонентов объектива. При малом значении разности ($v_{1r} - v_{2r}$) значения оптических сил φ получаются большими, что приводит к малым величинам радиусов объектива и к появлению больших значений aberrаций высших порядков.

Исследования показали, что для всех комбинаций материалов в диапазоне 1,8–3,5 мкм меньшие значения φ имеют комбинации с кристаллами LiF, CaF₂, SiO₂, Ge.

Был рассчитан ахромат с оптическими характеристиками: $f' = 100$ мм; 1:3,6 для диапазона длин волн $\lambda = 1,8-3,5$ мкм. В табл. 2 представлены значения aberrаций ахромата для точки на оси.

Отметим, что сферохроматическая aberrация на зоне не равна нулю, что дает более благоприятную коррекцию хроматизма.

Таким образом, при правильном выборе комбинаций марок материалов можно получить не только минимальное значение величины вторичного спектра, но и малые значения оптических сил линз объектива. Это позволяет применять рассмотренные материалы для расчета длиннофокусных светосильных систем.

Таблица 2
УДК 621.91.01: 519.237

$tg\sigma'$	$\lambda_0 = 2,6$ мкм		$\lambda_1 = 1,8$ мкм		$\lambda_3 = 3,5$ мкм	
	$\delta S'$	$\delta y'$	$\delta S'$	$\delta y'$	$\delta S'$	$\delta y'$
0	0	0	-	-	-	-
0,050	0,06	0,003	0,20	0,010	0,086	0,004
0,10	0,14	0,014	0,25	0,025	0,209	0,021
0,12	0,07	0,009	0,16	0,021	0,182	0,023
0,14	0,05	0,007	0,03	0,004	0,088	0,012

Результаты расчетов и полученные формулы могут быть использованы при проектировании новых оптических приборов.

1. Тарасов, В.В. Инфракрасные системы 3-го поколения / В.В. Тарасов, И.П. Торшина, Ю.Г. Якушенко. – М.: Логос, 2011. – 240 с.
2. Воронкова, Е.М. Оптические материалы для инфракрасной техники / Е.М. Воронкова и [др.]. – М.: Наука, 1965. – 268 с.
3. Запрягаева, Л.А. Расчет и проектирование оптических систем / Л.А. Запрягаева, И.С. Свешникова. – М.: Логос, 2010. – 581 с.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРОВ

Барандич Е.С., Выслоух С.П.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

Актуальной задачей, стоящей перед технологами, является обеспечение необходимых эксплуатационных свойств деталей приборов, поскольку их значения во многом определяют качество и надежность продукции приборостроительных предприятий.

Вопросам обеспечения заданных эксплуатационных свойств деталей посвящены работы многих ученых. Они направлены на установление количественных зависимостей, которые связывают эксплуатационные свойства с параметрами качества поверхностного слоя, а также на создание методик их технологического обеспечения.

Наибольшее влияние на эксплуатационные свойства деталей согласно [1-3] оказывают параметры шероховатости, остаточные напряжения и микротвердость поверхностного слоя.

Для определения параметров шероховатости в [1] предложено выражение:

$$R_z = h_1 + h_2 + h_3 + h_4,$$

где h_1 – составляющая профиля шероховатости, обусловленная геометрией и кинематикой рабочей части инструмента; h_2 – составляющая профиля шероховатости, обусловленная колебаниями инструмента относительно обрабатываемой поверхности; h_3 – составляющая профиля шероховатости, обусловленная пластическими деформациями в зоне контакта инструмента и заготовки; h_4 – составляющая профиля шероховатости, обусловленная шероховатостью рабочих поверхностей инструмента. Формулы для расчета этих величин получены для лезвийной обработки, абразивной обработки и отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием. Там же представлены уравнения для расчета степени упрочнения от действия силового фактора для выше указанных методов обработки.

В [4] предложены расчетные зависимости для определения глубины и степени наклепа при обработке отверстий лезвийным осевым инстру-