

Сравнителни характеристики на оптични полимери и стъкла

Нина Султанова и Стефка Касърва

Comparative characteristics of optical polymers and glasses: Possible applications of polymer materials in optical systems and devices are defined mainly by their optical properties in terms of refractive indices, transmission, dispersive and thermo-optic coefficients. We have examined more than twenty types of optical plastics, including basic and some new development materials. Comparison of optical properties of the investigated polymers and some glasses was carried out on base of measured refractive data.

Key words: Optical Polymers, Refractive Index, Dispersion, Abbe Numbers

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните две десетилетия с все по-ускорени темпове се разширяват сферите на приложение на оптичните полимерни материали. Те вече се използват не само в битовата оптика, но и за прецизни оптични устройства и системи [6]. Причина за това са както ценните оптични и физикомеханични свойства, така и ниската себестойност и лесна обработка на оптичните полимери (ОП). Определящо значение за широкото им приложение имат най-вече оптичните им характеристики като показатели на пречупване, дисперсионни и термооптични параметри, коефициенти на пропускане.

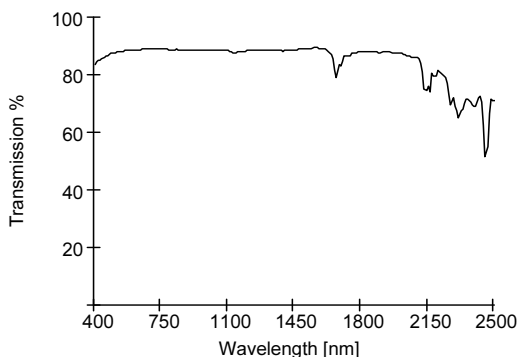
Основните ОП, които се използват в конструирането на оптични елементи, са полиметилметакрилат (PMMA), полистирен (PS), поликарбонат (PC), стирен-акрилонитрил (SAN), но има и много търговски марки като NAS-21 Novacor, STE-Richardson, Zeonex, Optorez, Bayer и др. В настоящата работа представяме рефрактометрични, дисперсионни и трансмисионни данни за тези полимери, включително и материали на американския производител Eastman Chemical Company (ECC), за видимата и близка инфрачервена (ИЧ) област. Направено е и сравнение с някои аналогични по рефракция оптични стъкла. Представените резултати представляват интерес за конструкторите на оптични елементи и уреди, включително и тези за нощно виждане.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Показателите на пречупване за видимата област на спектъра на над 20 ОП материали са измерени с рефрактометър на Пулфрих PR2, производство на фирмата “Карл Цайс Йена”, с грешка по паспорт 2×10^{-5} . Използва се V-образната призма на уреда, а образците на ОП се изработват във вид на пластинки с дебелина от 2.54 до 5.1 mm. За разширяване на спектралната област на измерване допълнително сме използвали и гониометрична уредба с източник на бяла светлина, набор от интерференчни филтри и фотодетекторно устройство. Определянето на показателя на пречупване се извършва по метода на отклонението и подробности за подготовката на образците, използваните контактни течности, методика на определяне на грешката и др. са представени в предишни публикации [4, 1]. За всеки от ОП са измерени показателите на пречупване за пет основни спектрални линии във видимата част и пет за близката ИЧ област до 1052 nm. В допълнение авторският колектив е разработил софтуерен продукт OptiColor за изчисляване на дисперсионни коефициенти и криви, числа на Аббе, показатели на пречупване при произволна дължина на вълната по рефрактометрични данни за шест дължини на вълната на базата на апроксимацията на Коши-Шот [4]. Проведен е и сравнителен анализ с резултатите, получени чрез приближението на Зелмайер [2].

При оценяване дисперсията на оптичните материали от изключително значение е определянето на ивиците на поглъщане на база измерен спектър на трансмисия. На фиг. 1 е представен резултатът за PC тънкослоен материал на ECC с дебелина

35 μm , получен с UV-VIS-NIR спектрофотометър Varian Carry 5E. Както се вижда, слабо поглъщане се наблюдава при 1670 nm и по-силно за над 2000 nm. Коефициентът на пропускане във видимата и близка ИЧ област надвишава 85 %. По каталожни данни оптичните стъкла имат по-добра трансмисия за тези спектрални области, като за някои достига почти 100 %, а ивиците им на поглъщане са в ултравиолетовия и ИЧ спектър около 2000 nm [5]. Получените резултати за ОП показват, че в интервала от 400 до 1500 nm те проявяват нормална дисперсия, което дава основание за използването на посочените по-горе апроксимации за изчисляване на дисперсионните им коефициенти.



Фиг. 1. Спектър на трансмисия на PC слой.

Традиционно дисперсионните свойства на оптичните материали се задават с числата на Аббе, като за видимата област пресмятанията са на база на резултатите за d- и e-линиите [5]. В настоящата работа за оценяване на дисперсията изчисляваме v_d за видимата, а в близката ИЧ област въвеждаме частична дисперсия, както следва:

$$v_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} \quad v_{879} = \frac{n_{879} - 1}{n_{703} - n_{1052}}. \quad (1)$$

Тук n_d , n_F and n_C са измерените показатели на пречупване при 587.56, 486.13 и 656.27 nm, а n_{703} , n_{879} , n_{1052} са съответните стойности в ИЧ спектър. В таблици 1 и 2 са представени числата на Аббе и измерените показатели на пречупване за d- линията съответно за някои от изследваните материали и избрани оптични стъкла.

Таблица 1.

	PS	PC	SAN	NAS	CTE	Bayer	PMMA	Zeonex	Optorez	Low Styrene	Poly-acrylate	Acrylic
n_d	1.5917	1.5849	1.5667	1.5714	1.5802	1.5857	1.4914	1.5309	1.5094	1.5162	1.4941	1.4917
v_d	30.5	29.1	35.4	35.5	32.8	30.0	59.2	56.5	52.0	44.9	63.3	57.8
v_{879}	57.6	56.8	69.1	55.7	62.8	54.3	96.6	87.0	71.7	84.7	97.6	97.0

Резултатите показват, че в случая най-голяма дисперсия проявява PC, а най-малка – PMMA и Polyacrylate (ECC). Включените стъкла [5] в таблица 2 имат подобна рефрактивна способност на ОП, но се отличават по дисперсия. ОП като PMMA, Polyacrylate и Acrylic (ECC) имат изключително слаба дисперсия в ИЧ област, докато представените кронови стъкла имат по-ниска дисперсия във видимия спектър

и по-силна – в ИЧ. Този факт прави ОП предпочитани материали при конструирането на уреди за нощно виждане.

Таблица 2.

	N-BK7	N-BAK2	N-PSK3	N-SK5	N-FK5	LF5	F5
n_d	1.51680	1.53996	1.55232	1.58913	1.48749	1.58144	1.60342
v_d	64.2	59.7	63.5	61.3	70.4	40.8	38.0
v_{879}	82.3	82.5	82.9	82.6	87.0	63.5	60.1
$(\Delta n_e / \Delta T) \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} *$ ($\lambda_e = 546.1 \text{ nm}$)	1.6	0.3	1.6	2.3	-2.3	0.7	3.2
$(\Delta n_g / \Delta T) \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} *$ ($\lambda_g = 435.8 \text{ nm}$)	2.1	0.9	2.1	2.9	-2.0	2.0	4.8

* данните са за температурен интервал от 20 до 40 °C

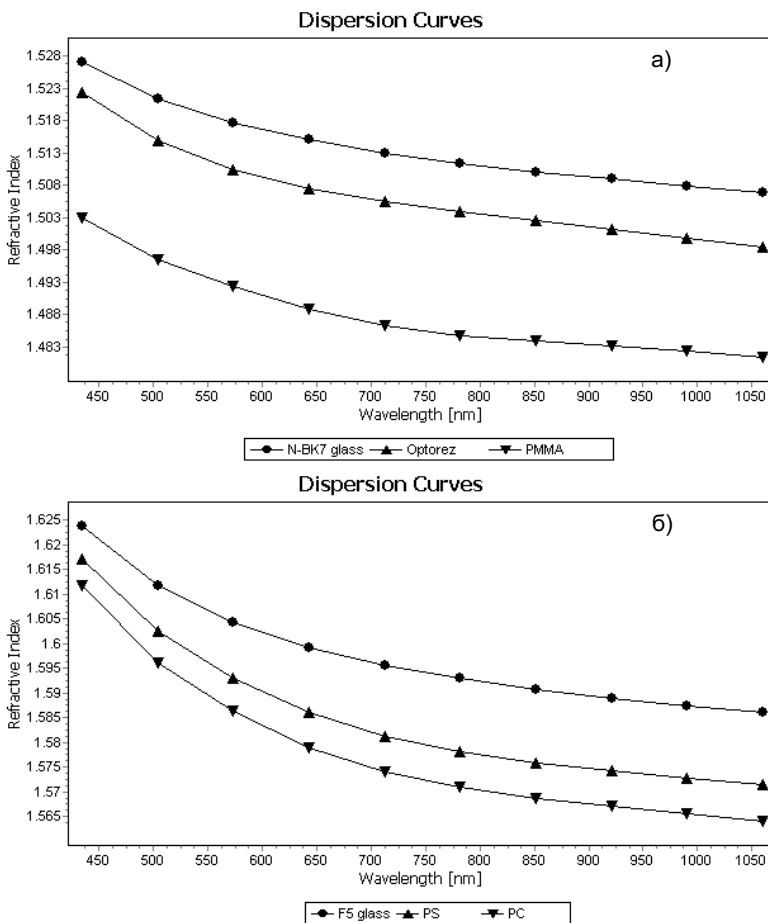
Термооптичните свойства на полимерите се различават значително от тези на оптичните стъкла. Важен параметър е изменението на показателя на пречупване с температурата dn/dT . Определените термооптични коефициенти за някои от изследваните ОП са представени в Таблица 3, а сравнителни стойности за стъкла са включени в Таблица 2 [5]. Абсолютните стойности на dn/dT за ОП са с около два порядъка по-големи от тези на стъклата, като полимерите показват намаляване на показателя на пречупване с увеличаване на температурата, докато за повечето стъкла термооптичните коефициенти са положителни. Има и стъкла като N-FK5, които проявяват обратна тенденция. Стойностите на dn/dT зависят от дължината на вълната и температурния диапазон.

Таблица 3.

Оптични полимери	Термооптичен коефициент $(\Delta n / \Delta T) \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$					
	$(10 \div 20) \text{ }^\circ\text{C}$			$(20 \div 50) \text{ }^\circ\text{C}$		
	g-линия	e-линия	C-линия	g-линия	e-линия	C-линия
PMMA	-1.00	-0.90	-0.86	-1.32	-1.30	-1.28
PS	-1.35	-1.30	-1.22	-1.37	-1.31	-1.26
PC	-0.60	-0.50	-0.40	-1.10	-1.00	-1.00
SAN	-1.10	-1.00	-1.00	-1.20	-1.10	-1.05
Optorez	-1.00	-0.96	-0.92	-1.22	-1.20	-1.16
S-low styr.	-1.50	-1.40	-1.30	-1.70	-1.64	-1.60
Zeonex	-1.24	-1.20	-1.10	-1.30	-1.26	-1.20
CTE-Rich.	-1.48	-1.44	-1.42	-1.66	-1.62	-1.60
	$(10 \div 30) \text{ }^\circ\text{C}$			$(30 \div 50) \text{ }^\circ\text{C}$		
Bayer	-0.86	-0.80	-0.78	-1.22	-1.20	-1.18

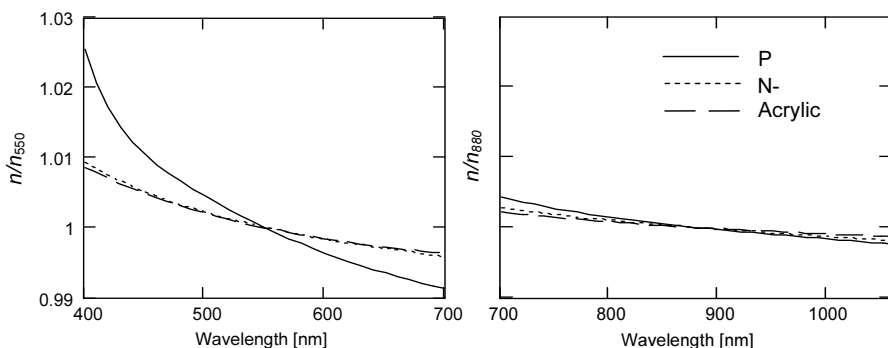
Друг ограничителен параметър при използването на ОП е температурният им коефициент на разширение. Така например акрилните полимери имат стойност от $7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ [4], докато за крона N-BK7 тя е $0.71 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ [5]. Това свойство на полимерите ограничава използването им в устройствата с широк работен температурен диапазон. Максималната работна температура за ОП се ограничава в зависимост от материала до $60 \div 250 \text{ }^\circ\text{C}$, докато за оптичните стъкла тя е в интервала $400 \div 700 \text{ }^\circ\text{C}$. Напоследък се синтезират и нови полимерни материали с подобрени топлинни и термооптични свойства.

Изчислените с OptiColor дисперсионни криви на някои от изследваните ОП и сравнителни стъкла са представени на Фиг. 2. Забелязва се по-малката дисперсия за стъклата във видимата област, докато за ИЧ светлина резултатите са подобни (Фиг. 2а). ОП с по-висока рефракция проявяват съответно по-силна дисперсия в целия изследван диапазон (Фиг.2б).



Фиг. 2. Дисперсионни криви на ОП и стъкла.

По-добър сравнителен анализ на дисперсионните свойства на материалите се постига чрез нормализиране на кривите към централната дължина на вълната съответно 550 nm за видимата и 880 nm за изследваната ИЧ област. Изчислени и изчертани са съотношенията n_i/n_{550} (Фиг. 3а) и n_i/n_{880} (Фиг. 3б) в зависимост от дължината на вълната. Както се вижда, получените резултати за Acrylic и стъклото N-SK5 са почти идентични (Фиг. 3а), докато полимерът с най-висока рефракция PS има и значителна дисперсия особено до 550 nm. В ИЧ област разглежданите оптични материали проявяват минимална дисперсия, като незначително се отличава отново PS.



Фиг. 3. Нормализирани дисперсионни криви.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на ОП в съвременната оптика се определя основно от техните рефрактивни, дисперсионни и термооптични свойства, както и от прозрачността им в съответния спектрален диапазон. Проведените измервания на показателите на пречупване на повече от 20 вида ОП при различни λ и T , както и получените на тяхна база дисперсионни и термооптични коефициенти, числа на Аббе, дисперсионни и нормализирани криви, потвърждават възможността за успешната замяна на оптичните стъкла с подходящи полимерни материали.

Нашите изследвания показват, че както рефракцията, така и дисперсията на ОП не е ограничителен фактор при използването им. Нещо повече, някои от полимерите проявяват по-малка дисперсия от стъклата в ИЧ област, което ги прави предпочитани материали за изработка на уреди за нощно виждане. Във видимата област повечето от стъклата проявяват по-ниска дисперсия, но има и такива с по-голяма от някои от предложените ОП. Прозрачността на ОП е също задоволителна. Недостатък се явява по-силната зависимост на показателя на пречупване на ОП от температурата, което ограничава тяхното приложение при екстремни външни условия. Удобство за конструкторите е по-голямото разнообразие от стъкла, но този недостатък се компенсира от възможността за евтина изработка от ОП на оптични елементи, включително прецизна и сложна асферична, дифракционна и др. оптика.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Касърова, С., Н.Султанова, Х.Иванов, Ив.Николов. Рефрактометрични характеристики на оптични полимери. Стандартизация, метрология, сертификация, 2006, 12, 7-12.
- [2] Kasarova, S., N.Sultanova, C.Ivanov, I.Nikolov. Analysis of the dispersion of optical plastic materials. Optical Materials, 2007, 29(11), 1481 – 1490.
- [3] Pfeffer, M. Handbook of plastic optics, ed. S. Baumer, NY, 2010, 23.
- [4] Sultanova, N., I.Nikolov, C.Ivanov. Measuring the refractometric characteristics of optical plastics. Optical and Quantum Electronics, 2003, 35, 21-34.
- [5] SCHOTT Glass Technologies, <http://www.us.schott.com>.
- [6] Tolley, P. Polymer optics gain respect. Photonics Spectra, 2003, 10, 76-79.

За контакти:

Доц. д-р Нина Георгиева Султанова и гл. ас. Стефка Николова Касърова, Катедра "Физика и математика", Университет "Асен Златаров"-Бургас, тел.: 056 858 270, e-mail: sultanova@btu.bg; kasarova_st@yahoo.com

Докладът е рецензиран