

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 535.51

СВОЙСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ АХРОМАТИЧЕСКИХ И СУПЕРАХРОМАТИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ПЛАСТИНОК НУЛЕВОГО ПОРЯДКА

© 2009 г. А. В. Самойлов*, канд. физ.-мат. наук; В. С. Самойлов**, канд. физ.-мат. наук;
А. С. Климов***; Е. А. Оберемок***, канд. физ.-мат. наук

* Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев, Украина

** ПК “Астроприбор” при ГАО НАН Украины, Киев, Украина

*** Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина

E-mail: oya@univ.kiev.ua, samoylov@isp.kiev.ua

Представлены спектральные зависимости фазового сдвига и положения оптической оси для трех-, пяти- и семикомпонентных волновых пластинок нулевого порядка, изготовленных из полиметилметакрилата (ПММА), обладающего искусственно вызванной анизотропией.

Кроме того, представлены зависимости фазового сдвига волновых пластинок от угла падения лучей и температуры, а также спектральная зависимость пропускания пластинок.

Коды OCIS: 120.2130.

Поступила в редакцию 13.08.2008.

Введение

Конструкция многокомпонентных волновых пластинок нулевого порядка описана в работе [1]. В работах [2,3] представлены рассчитанные и экспериментально измеренные спектральные зависимости фазового сдвига для трех- (ахроматической) и пятикомпонентной (суперахроматической) волновых пластинок.

Увеличением числа компонентов в пластинке можно добиться расширения спектральной области ахроматизации [4]. Целью данной работы явилось изготовление семикомпонентной четвертьволновой пластинки нулевого порядка и измерение ее спектральных характеристик. Измерены также зависимости положения оптической оси от длины волны для трех-, пяти- и семикомпонентных волновых пластинок. Кроме того, исследованы зависимости фазового сдвига волновых пластинок от температуры и угла падения лучей, а также спектры пропускания пластинок.

Конструкция

Конструкция семикомпонентной волновой пластинки показана на рис. 1.

По сравнению с пятикомпонентной в ней между крайними добавлена дополнительная

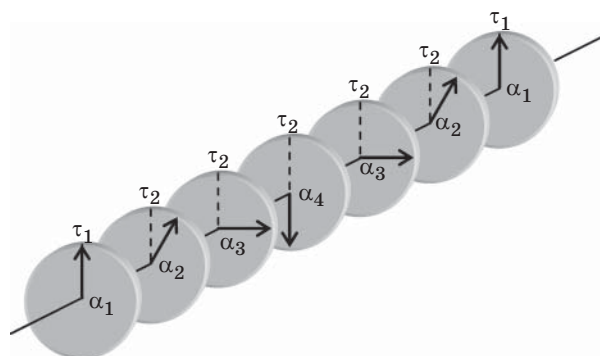


Рис. 1. Конструкция семикомпонентной ахроматической волновой пластинки.

пара компонентов. Оптические оси пар компонентов, симметричных относительно центрального, параллельны. Фазовые сдвиги τ_2 центральных компонентов равны 180° , а крайних $\tau_1 \leq 180^\circ$ в нулевом порядке для центральной длины волны λ_0 . Значение τ_1 для λ_0 и углов α_1 , α_2 и α_3 рассчитываются для требуемого значения эквивалентного фазового сдвига таким образом, что при одинаковом изменении фазового сдвига компонентов от заданного, безразлично какими причинами оно вызвано (изменение длины вол-

ны, температуры, угла падения), эквивалентный фазовый сдвиг всей конструкции остается в некоторых пределах постоянным [4].

В ПК “Астроприбор” при ГАО НАН Украины изготавливаются ахроматические (АПАВ) и суперхроматические (АПСАВ-5, АПСАВ-7) волновые пластинки нулевого порядка, состоящие из трех, пяти и семи анизотропных полимерных пластин соответственно, склеенных между двумя стеклянными (или кварцевыми) окнами. Такая конструкция обеспечивает хорошее качество прошедшего волнового фронта, а также минимизирует отклонение луча (при контролируемой склейке) и поверхностные отражательные потери.

Спектральные зависимости фазового сдвига и ориентации оптической оси. Спектральная зависимость пропускания

На рис. 2 представлены типичные спектральные зависимости фазового сдвига для трех-, пяти- и семикомпонентных волновых пластинок. На оси абсцисс отложена нормированная длина волны λ/λ_0 , где λ_0 – центральная длина волны, а на оси ординат – сдвиг фаз в волнах. При допуске на фазовый сдвиг $\pm 0,01\lambda$ область применимости пластин ограничивается пределами от λ_1/λ_0 до λ_2/λ_0 . Для волновых пластин, представленных на рис. 2, отношение граничных длин волн λ_2/λ_1 приведены в табл. 1.

Из рис. 2 и табл. 1 видно, что область ахроматизации семикомпонентной четвертьволновой пластинки существенно больше, чем у пятикомпонентной, что делает их изготовление и применение перспективным. Добавление двух дополнительных компонентов в полуволновую пластинку АПСАВ-5 также приводит к расширению области ахроматизации, однако внутри

спектрального диапазона появляются области, в которых фазовый сдвиг существенно (до 15°) отличается от 180° [4]. Такое отклонение вряд ли может считаться допустимым, что делает изготовление и применение семикомпонентных полуволновых пластинок нецелесообразным. Приведенные результаты показывают, что пятикомпонентные полуволновые пластинки по области ахроматизации шире, чем аналогичные четвертьволновые и практически такие же, как и семикомпонентные четвертьволновые пластинки.

У многокомпонентных волновых пластинок азимут оптической оси зависит от длины волны. На рис. 3 представлены эти зависимости для трех-, пяти- и семикомпонентных волновых пластинок. В области ахроматичности колебание ориентации оптической оси незначительно, однако в случае необходимости это явление нужно учитывать.

На рис. 4 приведена спектральная зависимость пропускания суперхроматической волновой пластинки (при просветленных внешних окнах). В коротковолновой области порог пропускания определяется порогом пропускания полиметилметакрилата (при использовании кварцевых окон). В длинноволновой области имеются две характерные для ПММА полосы

Таблица 1. Отношение граничных длин волн λ_2/λ_1

Волновая пластинка	λ_2/λ_1	
	$\lambda/4$ пластинки	$\lambda/2$ пластинки
АПАВ	1,53	1,5
АПСАВ – 5	2,15	2,40
АПСАВ – 7	2,40	—

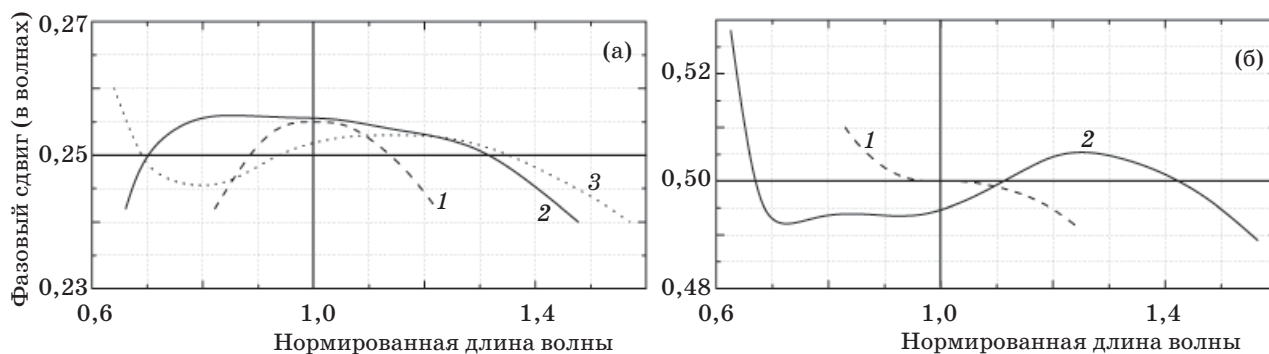


Рис. 2. Спектральные зависимости фазового сдвига для трех-(1), пяти- (2) и семикомпонентных (3) волновых пластинок. а – $\lambda/4$ волновые пластинки, б – $\lambda/2$ волновые пластинки.

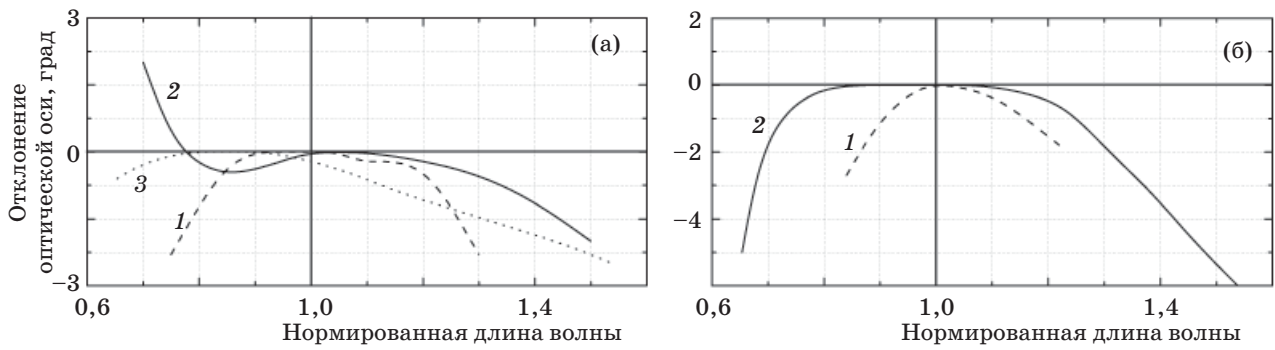


Рис. 3. Зависимость азимута оптической оси от длины волны для трех- (1), пяти- (2) и семикомпонентных (3) волновых пластинок. а $-\lambda/4$ волновые пластинки, б $-\lambda/2$ волновые пластинки.

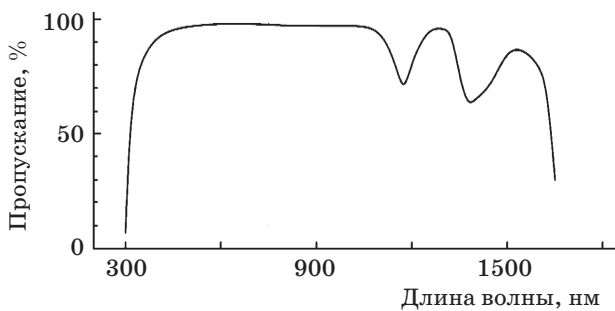


Рис. 4. Спектр пропускания суперахроматической волновой пластинки (при просветленных внешних окнах).

поглощения. Однако при необходимости можно изготавливать и использовать волновые пластинки, работающие вплоть до 1600 нм, учитывая при этом особенности пропускания пластинок в инфракрасной области спектра.

Зависимость фазового сдвига от угла падения

На рис. 5 представлены зависимости отклонения фазового сдвига четверть- и полуволновой пластинок АПСАВ-5 от угла падения для разных

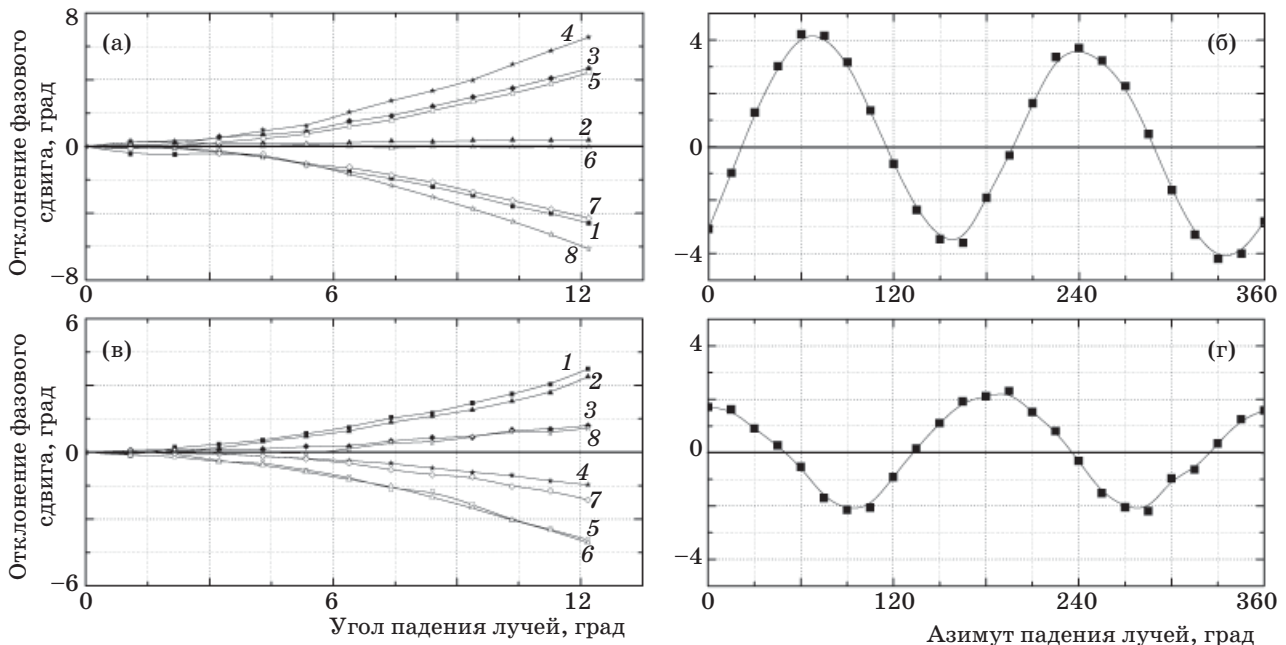


Рис. 5. Типичные зависимости отклонения фазового сдвига суперахроматических четверть- (а, в) и полуволновых (б, г) фазовых пластинок. а, б – от угла падения для разных азимутов падения, отсчитанных от направления оптической оси (1 – 0° , 2 – $22,5^\circ$, 3 – 45° , 4 – $67,5^\circ$, 5 – 90° , 6 – $112,5^\circ$, 7 – 135° , 8 – $157,5^\circ$), в, г – от азимута падения лучей при фиксированном угле падения 10° .

азимутов падения лучей, отсчитанных от направления оптической оси (а), а также зависимость отклонения фазового сдвига от азимута падения лучей относительно оптической оси при фиксированном угле падения 10° (б). Исследования проводились на длине волны $0,63$ мкм с использованием поляризметрических методов измерения и обработки данных, описанных в работах [5, 6]. Оказалось, что есть азимуты, при которых фазовый сдвиг вообще не зависит от угла падения лучей (для четвертьволновой: $22,5^\circ, 112,5^\circ, 202,5^\circ, 292,5^\circ$; для полуволновой: $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$ и 315°), и есть азимуты, при которых эта зависимость наиболее сильная (для четвертьволновой: $67,5^\circ, 157,5^\circ, 247,5^\circ, 337,5^\circ$ и для полуволновой: $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$). Причем фазовый сдвиг при увеличении угла падения может как увеличиваться (азимуты $67,5^\circ, 247,5^\circ$), так и уменьшаться (азимуты $157,5^\circ, 337,5^\circ$).

Для четвертьволновой семикомпонентной пластинки АПСАВ-7 (характер зависимостей аналогичен АПСАВ-5 на рис. 5) азимуты не чувствительные к углу падения, находятся в районе $12^\circ, 102^\circ, 192^\circ$ и 282° , а азимуты, при которых зависимость от угла падения максимальна – $57^\circ, 147^\circ, 237^\circ$ и 327° .

Таким образом, при падении на пластинку реального пучка, содержащего наклонные лучи разных азимутов, отклонения фазового сдвига может быть как положительным, так и отрицательным. Но при угле падения $\pm 9^\circ$ для четвертьволновой пластинки и $\pm 11^\circ$ для полуволновой отклонения фазового сдвига не превышают $\pm 3,6^\circ$ (т. е. $\pm 0,01\lambda$). Эти значения и определяют угловую апертуру суперхроматических волновых пластинок.

Таблица 2. Температурная зависимость фазового сдвига пластинки $\lambda/4$ АПСАВ-5

Температура, (°C)	Фазовый сдвиг (в волнах)
-12	0,2465
-5	0,2480
5	0,2500
15	0,2508
25	0,2514
42	0,2503

Температурная зависимость фазового сдвига

Изменение температуры одинаковым образом влияет на фазовые сдвиги отдельных компонентов пластинок (как и изменение длины волны). Поэтому можно ожидать, что зависимость фазового сдвига многокомпонентной фазовой пластинки от температуры будет подобной зависимости фазового сдвига от длины волны.

В табл. 2 представлены данные измерений зависимости фазового сдвига четвертьволновой АПСАВ-5 от температуры. Внутри измеряемого интервала есть область, в которой фазовый сдвиг практически вообще не зависит от температуры. Экстраполяция этой зависимости позволяет заключить, что в рабочей области температур ($-20^\circ\text{C} + 50^\circ\text{C}$) изменение фазового сдвига не превышает $0,01\lambda$.

Технические характеристики многокомпонентных волновых пластинок

В табл. 3 приведены технические характеристики ахроматических и суперхроматических волновых пластинок нулевого порядка, изготов-

Таблица 3.1. Технические характеристики многокомпонентных волновых пластинок

Анизотропный материал	Комплект анизотропных полимерных пластин
Материал внешних окошек	Хорошо отоженное оптическое стекло
Фазовый сдвиг	$\lambda/4, \lambda/2, \lambda/2,83$ ($90^\circ, 180^\circ, 127^\circ$)
Точность сдвига фаз	$\pm \lambda/100$
Искажение волнового фронта	$< 0,2$ волны на см. при $632,8$ нм
Диапазон рабочих температур	$-20^\circ\text{C} \div +50^\circ\text{C}$
Отклонение луча	≤ 5 arc sec
Антиотражающее покрытие	широкополосное, многослойное, $R < 1\%$ от поверхности
Рабочий диаметр	15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 мм
Световой диаметр	$\geq 90\%$ внешнего диаметра
Порог разрушения	$500\text{Вт/см}^2 \text{ CW}$
Очистка	Спирт

Таблица 3.2. Технические характеристики многокомпонентных волновых пластинок

Технические характеристики \ Тип пластинки	Ахроматические АПАВ	Суперахроматические АПСАВ-5	Суперахроматические АПСАВ-7
Угловая апертура	$\pm 7^\circ$	$\pm 10^\circ$	$\pm 10^\circ$
Толщина, мм	4 ÷ 8	5 ÷ 12	7 ÷ 14
Область длин волн, нм	340 ÷ 520		
	360 ÷ 550	340 ÷ 730	
	400 ÷ 610	360 ÷ 770	340 ÷ 810
	450 ÷ 685	400 ÷ 860	360 ÷ 860
	500 ÷ 760	450 ÷ 960	400 ÷ 950
	600 ÷ 910	500 ÷ 1070	450 ÷ 1070
	700 ÷ 1060	550 ÷ 1180	500 ÷ 1200
	700 ÷ 1220	600 ÷ 1280	550 ÷ 1320

ливаемых в ПК “Астроприбор”. По совокупности свойств ахроматические и суперахроматические волновые пластинки нулевого порядка являются одними из лучших, а по своим габаритам (до 60 мм) – уникальными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаенко О.И., Кучеров В.А., Самойлов В.С. Ахроматическая фазовая пластинка // А. с. № 1269067. Бюл. изобр. 1986. № 41. С. 89.
2. Кучеров В.А. Многокомпонентные симметричные ахроматические фазовые пластинки. II составные фазосдвигатели с небольшим числом элементов // Кинематика и физика небесных тел. 1986. Т. 2. № 1. С. 82–87.
3. Samoylov A.V., Samoylov V.S., Vidmachenko A.P., Perekhod A.V. Achromatic and super-achromatic zero-order waveplates // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 2004. V. 88. P. 319–325.
4. Кучеров В.А. Спектрополяриметрия Юпитера в полосах поглощения метана // Дис. канд. физ.-мат. наук. Киев: ГАО НАН Украины, 1986. 128 с.
5. Savenkov S.N., Oberemok Ye.A., Klimov A.S., Skoblyu Yu.A., Obukhov N.A. Complete and incomplete imaging Mueller matrix polarimetry of homogeneous anisotropic media // Proc. SPIE. 2007. V. 6536. P. 65360J.
6. Savenkov S.N., Mar'enko V.V., Oberemok E.A., Sydoruk O.I. Generalized matrix equivalence theorem for polarization theory // Phys. Rev. E. 2006. V. 74. P. 056607.