

АХРОМАТИЧЕСКИЙ КОМПЕНСАТОР ВОЛНОВОЙ РАЗНОСТИ
ХОДА ДВОЙНОГО ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ

Н. М. Дричко

Описывается схема ахроматического компенсатора волновой разности хода двойного лучепреломления (АК). Ахроматизация достигается за счет выполнения компонентов компенсатора из кристаллов с разной дисперсией двойного лучепреломления. Приведены расчетные и экспериментальные кривые зависимости волновой разности хода от длины волны для двухкомпонентных АК из разных пар кристаллов. Волновая разность хода АК в области спектра порядка 250 нм сохраняется постоянной с точностью до нескольких процентов.

Используемые в практике поляризационных измерений компенсаторы волновой разности хода двойного лучепреломления [1, 2] обладают сильной зависимостью вносимой ими волновой разности хода от длины волны. Для компенсаторов Бабиня, Солейля, Берека изменение волновой разности хода в видимой области спектра достигает 60%.

В ряде задач, связанных с поляризационными измерениями в широком спектральном интервале, необходимы ахроматические компенсаторы, т. е. компенсаторы, волновая разность хода которых практически не зависит от длины волны. Такими задачами являются, например, измерение дисперсии двулучепреломления различных объектов, задача получения систем с заданной периодической функцией пропускания, состоящих из кристаллических пластин и компенсаторов [3], задача создания интерференционно-поляризационных фильтров с передвижной на широком участке спектра полосой пропускания.

В данном сообщении описывается устройство ахроматического компенсатора. Предлагаемый компенсатор основан на принципе компенсации дисперсий двойного лучепреломления различных двоякопреломляющих кристаллов. В последние годы этот принцип использовался для получения таких разных по назначению и характеристикам систем, как ахроматические дробноволновые пластинки [4], фазодисперсионные фильтры [5] и эквихроматические волновые пластинки [6].

Принципиальная схема ахроматического компенсатора приведена на рис. 1. Компенсатор состоит из двух или более компонентов (K), выполненных из кристаллических материалов с разной дисперсией двойного лучепреломления. Буквами Π обозначены вспомогательные поляризаторы. Каждый компонент представляет собой пластинку переменной разности хода, имеющую вид компенсатора Солейля. Однако при работе с высокими порядками интерференции в отдельных или даже во всех компонентах могут отсутствовать плоскопараллельные пластинки. Кварцевые компоненты могут выполняться в виде двух клиньев при работе с порядками выше пяти.

Отдельные элементы каждого компонента ориентированы следующим образом: ребра клиньев параллельны или перпендикулярны оптической оси кристалла (острой биссектрисе оптической индикатрисы в случае двусосного кристалла); плоскопараллельные пластины вырезаны параллельно плоскостям оптических осей и ориентируются так, чтобы разности хода одиночной и составленной из двух клиньев пластин вычитались.

Взаимная ориентировка компонентов из разных кристаллов определяется в процессе расчета. В случае двух компонентов их разности хода вычитаются.

Обозначим l_i эффективную толщину компонента из i -го кристаллического материала, т. е. разность толщин составленной из двух клиньев и одиночной пластинки i -компонента. Показатель двойного лучепреломления i -компонента для j -длины волны λ_j обозначим μ_{ij} ; волновую разность хода, создаваемую всем ахроматическим компенсатором для λ_j , обозначим k_j . Найдем эффективные толщины компонентов и закон их изменения.

Компенсатор из n компонентов можно описать уравнениями

$$\sum_{i=1}^n \frac{l_i \mu_{ij}}{\lambda_j} = k_j \quad (j = 1, 2, \dots, m). \quad (1)$$

Эта система уравнений определена при $n=m$, т. е. число компонентов компенсатора должно быть равно числу длин волн, для которых нужно иметь строго одинаковое k . Ахроматическим в спектральном интервале $\lambda_1 - \lambda_m$ будем называть компенсатор, для которого выполняется условие

$$k_1 = k_2 = \dots = k_m \quad (2)$$

при любом значении k .

Продифференцируем уравнения (1) по l . Сравнивая полученную систему уравнений с системой (1), находим

$$dl_i = \frac{dk}{k} l_i. \quad (3)$$

Из системы уравнений (1) можно найти эффективные толщины каждого компонента для некоторого значения k , а уравнение (3) дает закон изменения толщины каждого компонента, обеспечивающий плавное изменение разности хода при сохранении условия ахроматизации (2).

Число компонентов, как было указано выше, определяется степенью требуемой ахроматизации и величиной спектрального интервала, в котором она должна быть осуществлена. Для большинства практических задач вполне достаточно двух компонентов. В спектральном интервале порядка 250 нм двухкомпонентный компенсатор обеспечивает постоянно волновую разность хода с точностью до 5%. При изменении абсолютной величины k относительное изменение волновой разности хода остается постоянным.

Перемещение клиньев, обеспечивающее сохранение заданного соотношения эффективных толщин, может быть легко осуществлено поворотом одного винта, проградуированного в волновых разностях хода (порядках интерференции). Компенсация может осуществляться начиная с нулевого порядка. При $k=0$ эффективная толщина каждого компонента равна нулю. Число порядков интерференции, в пределах которого работает компенсатор, ограничивается размерами кристаллов.

Для ахроматического компенсатора могут быть использованы различные оптические двоякопреломляющие кристаллы. Кроме кварца, кальцита, слюды в настоящее время для поляризационных деталей используются также синтетические кристаллы, как дигидрофосфат аммония (ADP), дигидрофосфат калия (KDP), фтористый магний, натровая и калиевая селитра и некоторые другие кристаллы. Выбор пар кристаллов для ахроматического компенсатора обусловлен требуемой степенью ахроматизации и разумными толщинами элементов.

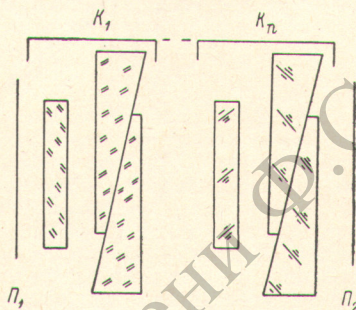


Рис. 1. Оптическая схема ахроматического компенсатора.

Был осуществлен двухкомпонентный ахроматический компенсатор с компонентами из кварца и кальцита. Световое отверстие компенсатора $4 \times 9 \text{ мм}^2$. Эффективные толщины компонентов при $k=2$ составили: 3.10 мм (кварц) и 0.17 мм (кальцит). Волновая разность хода компенсатора изменялась от нуля до 2.5. Длина кварцевых клиньев в направлении, перпендикулярном их ребрам, составляла 17 мм. Диапазон изменения волновой разности хода может быть увеличен за счет увеличения размеров клиньев в направлении перемещения или их угла. Экспериментальная и расчетная кривые $k=f(\lambda)$ для этого компенсатора приведены на рис. 2. При-

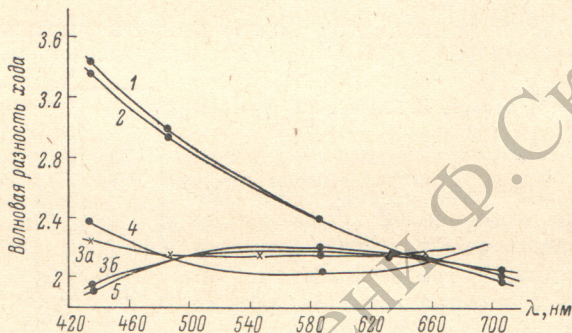


Рис. 2. Зависимость волновой разности хода от длины волны.

1 — компенсатор Берека, 2 — компенсатор Солейля, 3 — ахроматический компенсатор из кварца и кальцита (а — экспериментальная кривая, б — расчетная кривая), 4 — ахроматический компенсатор из кварца и АДР, 5 — ахроматический компенсатор из кварца и фтористого магния.

ведены также расчетные кривые $k=f(\lambda)$ для ахроматических компенсаторов из кварца и АДР и из кварца и фтористого магния. Расчет для всех трех компенсаторов проведен из условия равенства волновых разностей хода для длин волн 486.1 и 656.3 нм. Эффективные толщины компонентов при $k=2$ составили для компенсатора кварц — АДР 2.115 и 0.264 мм, для компенсатора кварц — фтористый магний — 2.433 и 1.98 мм соответственно. Для сравнения дается зависимость волновой разности хода от длины волны для компенсаторов Солейля и Берека при том же, что для ахроматических компенсаторов, значении k для $\lambda=656 \text{ нм}$.

Как видно из рис. 2, ахроматический компенсатор обеспечивает постоянство волновой разности хода в области спектра от 440 до 700 нм с точностью до 5%, в то время как компенсаторы Солейля и Берека в этом же интервале изменяют волновую разность хода на 60%.

Литература

- [1] Н. J. Jerrard. J. Opt. Soc. Am., 38, 35, 1948.
- [2] E. D. Palic. Appl. Optics. 7, 978, 1968.
- [3] E. O. Amman, J. M. Gorbrough. J. Opt. Soc. Am., 56, 1746, 1966.
- [4] С. Б. Иоффе, Т. А. Смирнова. Опт. и спектр., 16, 894, 1964.
- [5] С. Б. Иоффе, Н. М. Дричко. ДАН СССР, 164, 793, 1965.
- [6] V. Chandrasekharan, H. Damanu. Appl. Optics. 7, 939, 1968.

Поступило в Редакцию 19 сентября 1968 г.