

07

Фарадеевский компенсатор взаимной оптической анизотропии на основе поляризационного кольцевого интерферометра

© В.М. Геликонов, Г.В. Геликонов, В.В. Иванов, М.А. Новиков

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород

Поступило в Редакцию 11 ноября 1998 г.

Показано, что поляризационный кольцевой интерферометр, содержащий фарадеевскую ячейку, может быть использован для компенсации взаимной анизотропии в двухпроходных оптических схемах. Теоретически и экспериментально установлено, что в отличие от традиционных фарадеевских зеркал, качество восстановления поляризации в компенсаторе на основе поляризационного кольцевого интерферометра практически не зависит от угла фарадеевского вращения. Отклонение угла фарадеевского вращения от 45 градусов приводит лишь к дополнительным потерям мощности. Новые компенсаторы могут быть использованы в волоконно-оптических схемах с широкополосным источником света или с несколькими источниками с различными длинами волн.

Компенсаторы взаимной оптической анизотропии на основе фарадеевских ротаторов — так называемые фарадеевские зеркала — в настоящее время находят широкое применение в двухпроходных оптических схемах [1–5], в частности в волоконно-оптических интерферометрах [3] и оптических усилителях [4,5]. Простейшее фарадеевское зеркало [1,2] представляет собой комбинацию из 45-градусного фарадеевского ротатора и возвращающего зеркала. Как показано в [1], в двухпроходной оптической схеме, состоящей из фарадеевского зеркала и установленного перед ним взаимного элемента с произвольной фазовой анизотропией (например, отрезка одномодового оптического волокна), выходная поляризация всегда ортогональна входной, независимо от анизотропии и входной поляризации. Это позволяет получить стабильную поляризацию на выходе двухпроходной анизотропной оптической системы с нестабильными параметрами.

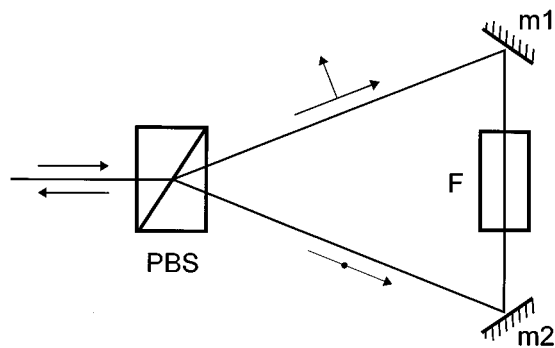


Рис. 1. Схема фарадеевского компенсатора на основе поляризационного кольцевого интерферометра: *PBS* — поляризационный расщепитель; *m1*, *m2* — зеркала; *F* — фарадеевский ротатор.

Однако, если угол вращения фарадеевского ротатора отличается от 45 градусов, фарадеевское зеркало [1] не обеспечивает полной компенсации паразитной анизотропии. Интенсивность нежелательной компоненты выходной поляризации

$$I_{\parallel} \sim \sin^2 2\Delta\theta, \quad (1)$$

где $\Delta\theta$ — отклонение угла вращения фарадеевского ротатора от 45 градусов. Ошибка компенсации (1) может возникать вследствие температурной нестабильности фарадеевского вращения (что в той или иной степени присуще всем магнитооптическим материалам) или вследствие деградации постоянного магнита фарадеевского ротатора. Кроме того, из-за частотной дисперсии фарадеевского вращения ошибка компенсации (1) всегда имеет место в схемах с широкополосным источником света или с несколькими источниками с разными длинами волн.

В настоящей работе предложен и экспериментально исследован фарадеевский компенсатор взаимной анизотропии, качество компенсации в котором практически не зависит от угла вращения фарадеевского ротатора. Схема компенсатора приведена на рис. 1. Компенсатор представляет собой поляризационный кольцевой интерферометр [6], содержащий фарадеевский ротатор *F*. Поляризационный кольцевой интерферометр (ПКИ) образован поляризационным расщепителем *PBS* и

зеркалами m_1 и m_2 . Матрица Джонса ПКИ, содержащего анизотропный элемент \hat{M} , имеет вид

$$\hat{R} = \begin{vmatrix} 0 & m_{12}^+ \\ m_{21}^- & 0 \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где m_{ij} — элементы матрицы Джонса \hat{M} , "±" отвечают противоположным направлениям обхода контура ПКИ. Если в качестве анизотропного элемента \hat{M} взять фарадеевский ротатор, матрица Джонса которого имеет вид

$$\hat{M}_F = \begin{vmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{vmatrix}, \quad (3)$$

то матрица Джонса нашего компенсатора принимает вид

$$\hat{R} = \sin \theta \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Как показано в [1], в двухпроходной оптической схеме отражатель с матрицей Джонса (4) компенсирует любую фазовую взаимную анизотропию в элементах, расположенных перед ним. Независимо от угла фарадеевского вращения, компенсатор на основе ПКИ полностью эквивалентен идеальному традиционному 45-градусному фарадеевскому зеркалу. Отклонение угла фарадеевского вращения от оптимального (45 градусов) приводит лишь к уменьшению возвращаемой компенсатором мощности, которое связано с увеличением поляризационных составляющих встречных волн, не направляемых поляризационным расщепителем.

Характеристики компенсатора на основе ПКИ и традиционного 45-градусного фарадеевского зеркала сравнивались в эксперименте, схема которого приведена на рис. 2. Свет от гелий-неонового лазера (He-Ne) проходил через поляризатор (P), одномодовое осесимметричное оптическое волокно (SMF), отражался от исследуемого компенсатора (C), снова проходил через волокно и через 50%-ный светоделитель (BS) направлялся на поляризационный фотоприемник, состоящий из призмы Волластона (W), одна из осей которого ориентирована параллельно поляризации на выходе поляризатора P , и пары фотодиодов ($PD1$, $PD2$). С помощью поляризационного контроллера Лефевра (PC) в волокне могла быть создана любая фазовая анизотропия. При идеальной компенсации анизотропии в волокне поляризация на выходе из волокна (и соответственно на входе фотоприемника) должна быть строго ортогональна поляризации на входе волокна, создаваемой

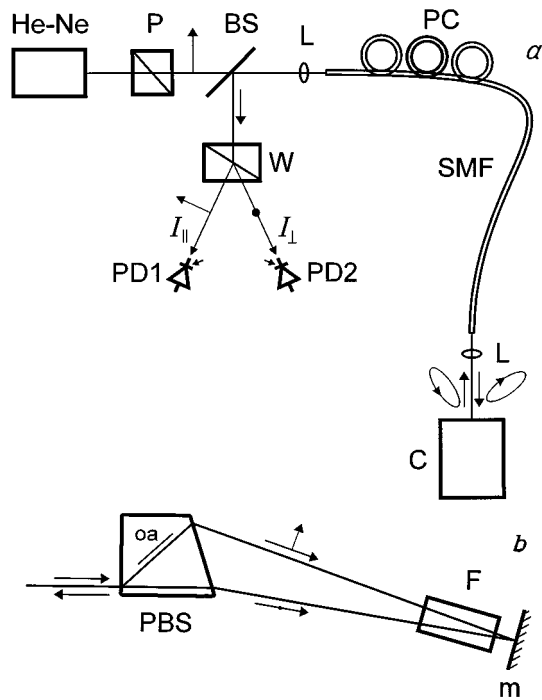


Рис. 2. Экспериментальная установка для исследования фарадеевских компенсаторов (а). He-Ne — гелий-неоновый лазер ($\lambda = 0.63 \mu\text{m}$); P — поляризатор (призма Глана); L — линза; SMF — одномодовое оптическое волокно; PC — поляризационный контроллер Лефевра; C — исследуемый компенсатор. Компенсатор на основе ПКИ, использовавшийся в эксперименте (б): PBS — поляризационный расщепитель, m — плоское зеркало, F — фарадеевский ротатор с перестраиваемым углом вращения.

поляризатором P . Появление на входе фотоприемника поляризационной компоненты, параллельной входной поляризации, свидетельствует об ошибке компенсации. В эксперименте измерялись интенсивности ортогональной и параллельной компонент поляризации после двукратного прохождения через волокно в зависимости от угла фарадеевского вращения для обоих типов компенсаторов. При каждом значении угла фараде-

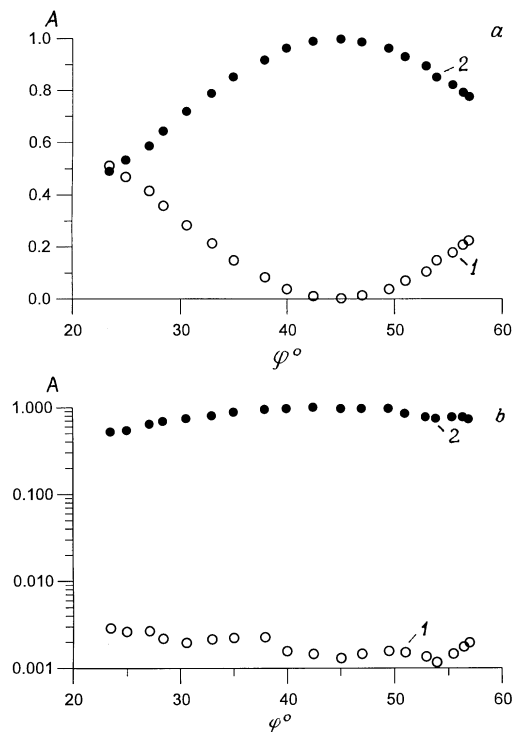


Рис. 3. Качество компенсации в зависимости от угла фарадеевского вращения φ . 1 — интенсивность некомпенсированной (параллельной исходной) компоненты выходной поляризации A, 2 — интенсивность скомпенсированной (ортогональной исходной) компоненты выходной поляризации. *a* — традиционное фарадеевское зеркало, *b* — компенсатор на основе ПКИ.

евского вращения с помощью поляризационного контроллера Лефевра в волокне создавалась такая анизотропия, при которой значение некомпенсированной компоненты было максимальным. Следует отметить, что, хотя в нашем эксперименте поляризация на входе двухпроходной схемы была линейной, полученные нами данные о качестве компенсации справедливы для любой входной поляризации, которая может быть представлена как сумма двух линейно поляризованных компонент.

Схема компенсатора, использовавшегося в эксперименте, приведена на рис. 2, *b*. Компенсатор включает в себя поляризационный расщепитель (*PBS*), зеркало (*M*), замыкающее контур ПКИ, и фарадеевскую ячейку (*F*) с перестраиваемым углом вращения плоскости поляризации, установленную непосредственно перед зеркалом. В качестве поляризационного расщепителя использовалась скошенная пластина Савара — кальцитовая призма, вырезанная под углом к оптической оси. Зеркало размещалось в точке пересечения разделенных пластиной Савара лучей. Фарадеевский ротатор был изготовлен в виде стержня из магнитооптического стекла МОС-31, который мог перемещаться внутри цилиндрического самарий-кобальтового постоянного магнита. Перемещением магнитооптического стержня внутри постоянного магнита угол фарадеевского вращения на рабочей длине волны $0.63 \mu\text{m}$ можно было менять от 0 до 60 градусов. Эта же ячейка использовалась в 45-градусном фарадеевском зеркале.

Результаты измерений представлены на рис. 3. Видно, что при использовании компенсатора на основе ПКИ качество компенсации, определяемое отношением параллельной и ортогональной компонент входной поляризации, остается высоким при всех углах фарадеевского вращения, тогда как в случае традиционного 45-градусного фарадеевского зеркала отношение интенсивностей некомпенсированной и скомпенсированной компонент при удалении от 45 градусов быстро возрастает. Важно отметить, что даже при углах фарадеевского вращения, близких к 45 градусам, компенсатор на основе ПКИ обеспечивает более качественное восстановление поляризации, чем 45-градусное фарадеевское зеркало. Остаточная ошибка компенсации связана, по-видимому, с несовершенством фарадеевской ячейки и с неидеальностью настройки ПКИ и фотоприемника.

Вышеизложенные результаты позволяют предполагать, что компенсаторы паразитной анизотропии на основе поляризационных кольцевых интерферометров могут найти применение в различных оптических схемах, в первую очередь волоконно-оптических схемах, где используется широкополосный свет или несколько длин волн и где требуется качественная компенсация на всех длинах волн. Важно отметить, что новый компенсатор допускает цельноволокonnую реализацию на основе поляризационно-зависимых волоконных ответвителей.

Авторы признательны Е.А. Хазанову за полезные замечания.

Список литературы

- [1] Геликонов В.М., Гусовский Д.Д., Леонов В.И., Новиков М.А. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. С. 775; Sov. Tech. Phys. Lett. 1988. V. 17. P. 372.
- [2] Martinelli M. // Opt. Comm. 1989. V. 72. P. 341–343.
- [3] Kersey A.D., Marrone M.J., Davis M.A. // Electron. Lett. 1991. V. 27. P. 518–520.
- [4] Duling N., Esman R.D. // Electron. Lett. 1992. V. 28. P. 1126–1128.
- [5] Giles C.R. // Electron. Lett. 1994. V. 30. P. 976–977.
- [6] Новиков М.А. // Радиотехника и электроника. 1976. Т. 21. С. 904–905.