

07:12
©1994

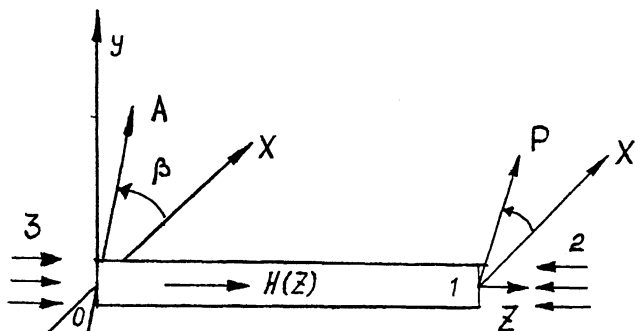
РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕТА В НЕОДНОРОДНО-НАМАГНИЧЕННОЙ СРЕДЕ СО СЛАБЫМ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕМ: ЭКСПЕРИМЕНТ С ОПТИЧЕСКИМ ВЕНТИЛЕМ ФАРАДЕЯ

В.И.Белотицкий

Оптические изоляторы в настоящее время широко используются в физических исследованиях, лазерной технике для защиты оптических генераторов и усилителей от обратных отражений и рассеяний. Если обратное рассеяние имеет неопределенную поляризацию, то в качестве оптической развязки, как правило, используют невзаимный элемент на основе эффекта Фарадея.

Оптический вентиль Фарадея состоит из поляризатора, элемента вращения поляризации на основе эффекта Фарадея, магнита для создания магнитного поля и оптического анализатора. В оптическом изоляторе падающий свет проходит через линейный поляризатор, затем — сквозь магнитооптический элемент, где плоскость поляризации поворачивается на 45 градусов, и анализатор, который повернут относительно входного поляризатора на 45 градусов, и далее в оптическую схему. Обратное излучение от оптической схемы (отраженный или рассеянный свет) проходит сквозь анализатор и становится линейно поляризованным, затем, проходя сквозь магнитооптический элемент, плоскость поляризации опять поворачивается на 45 градусов и из-за невзаимности эффекта Фарадея прошедший свет оказывается поляризованным под углом 90 градусов относительно прямого излучения и подавляется в поляризаторе. Если магнитооптический элемент обладает двулучепреломлением, то прошедший сквозь него свет окажется эллиптически поляризованным и не будет полностью подавлен в поляризаторе, что приведет к уменьшению величины развязки.

Известно, что величину двулучепреломления в магнитооптических стеклах можно уменьшить термическим отжигом или созданием искусственных механических напряжений. В случае однородно-намагниченного магнитооптического элемента и постоянной величины двулучепреломления влияние последнего на величину развязки может быть



Вентиль Фарадея. 1 — неоднородно-намагниченный магнитооптический элемент, 2 — падающий свет, 3 — обратное излучение; A, P — главные оси анализатора и поляризатора соответственно.

исключено поворотом магнитооптического элемента (см., например, [1,2]).

Цель данной работы — показать, что и в случае неоднородно-намагниченного вдоль направления распространения света магнитооптического элемента с произвольно изменяющимся вдоль него небольшим двулучепреломлением магнитооптический элемент можно установить так, что двулучепреломление не приведет к ухудшению параметра развязки.

Рассмотрим распространение обратного излучения сквозь магнитооптический изолятор. Предположим, что магнитооптический элемент не обладает потерями и поляризаторы (главные оси которых составляют соответственно углы α и β с осью OX при $z = 0$, см. рисунок) являются идеальными. Распространение света в неоднородно намагниченной среде с неоднородным двулучепреломлением будем рассматривать на основе следующей системы уравнений [3] (интересный вывод которой приведен в [4]):

$$\begin{aligned} \frac{dE_x}{dz} &= \left(-k_0 - i\frac{\rho}{2} \cos 2\Phi\right) E_x - \left(\theta + i\frac{\rho}{2} \sin 2\Phi\right) E_y, \\ \frac{dE_y}{dz} &= \left(\theta - i\frac{\rho}{2} \sin 2\Phi\right) E_x + \left(-ik_0 + i\frac{\rho}{2} \cos 2\Phi\right) E_y, \end{aligned} \quad (1)$$

где $E_{x,y}$ — комплексные амплитуды световых волн; k_0 — среднее значение волнового вектора; $\theta(z), \rho(z)$ — величины фарадеевского вращения и двулучепреломления соответственно. $\Phi(z)$ — закон поворота оптических осей вдоль магнитооптического элемента, причем оси OX, OY выбраны так, что $\Phi(0) = 0$.

Используя подстановки $E_{x,y} = A_{x,y} \exp\left(-i \int_0^z K_0(z') dz'\right)$, $S = A_x + iA_y$, $R = A_x - iA_y$, систему (1) можно привести к виду

$$\frac{dS}{dz} = i\theta \cdot S - i\frac{\rho}{2} R e^{i2\Phi},$$

$$\frac{dR}{dz} = -i\theta R - i\frac{\rho}{2} S e^{-2\Phi}.$$

Решая последнюю методом последовательных приближений при условии $|\rho| \ll |\theta|$ и начальных условиях $S(0) = e^{i\beta}$; $R(0) = e^{-i\beta}$, получим

$$S(z) \approx e^{i[\beta + \Delta(z)]} - ie^{i\Delta(z)} \int_0^z \frac{\rho(z')}{2} e^{i[\gamma(z') - \beta]} dz',$$

$$R(z) \approx e^{-i[\beta + \Delta(z)]} - ie^{-i\Delta(z)} \int_0^z \frac{\rho(z')}{2} e^{-i[\gamma(z') - \beta]} dz',$$

где

$$\gamma(z) = 2[\Phi(z) - \Delta(z)]; \quad \Delta(z) = \int_0^z \theta(z') dz'.$$

Тогда амплитуда волны за поляризатором на входе магнитооптической развязки равна

$$E_\alpha = \cos[\beta - \alpha + \Delta(l)] - i\sqrt{I_1^2 + I_2^2} \cos[\Delta(l) - \alpha - \beta + \xi(l)],$$

где $I_{(1/2)} = \int_0^l \frac{\rho(z)}{2} \cos(\sin)[\gamma(z)] dz$, $\xi(z) = \arctg \frac{I_2}{I_1}$, l — длина магнитооптического элемента. Условие непропускания обратного излучения, т.е. $E_\alpha = 0$ выполняется при

$$\alpha = \Delta(e) + \frac{\xi(e)}{2} - \frac{\Pi}{2}(n + k + 1),$$

$$\beta = \frac{\xi(e)}{2} + \frac{\pi}{2}(k - n),$$

где n, k — целые, т.е. величина развязки в таком случае будет не хуже, чем $\left|\frac{\theta}{\rho}\right|^4$. При произвольной установке поляризаторов величина развязки может оказаться

$\sim \left| \frac{\theta^2}{\rho} \right|$. Наличие двулучепреломления приводит к небольшому уменьшению проходящей мощности в прямом направлении $\sim \left[1 - \left(\frac{\rho}{\theta} \right)^2 \right]$.

Экспериментальная проверка проводилась на оптическом вентиле, изготовленном на длину волны 1.06 мкм из магнитооптического стекла, близкого по параметрам к МОС-04 [5]. Магнитная система набиралась из постоянных кольцеобразных Nd-Fe-B магнитов внешнего диаметра 50 и внутреннего 10 мм. Так как постоянная Верде на длине волны 1.06 мкм мала, то для уменьшения габаритов и веса магнитной системы оптический вентиль был изготовлен из элементов длиной 50 мм. Угол магнитооптического вращения на каждом элементе составил около 15 градусов. Двулучепреломление для каждого элемента составляло 2 градуса. В качестве источника света использовался YIG:Nd лазер в режиме синхронизации мод. В качестве поляризаторов использовались призмы Глана, для которых отношение пропускания света к непропусканию составляло 40 ДБ. При вращении поляризации света, проходящего в обратном направлении сквозь магнитооптический вентиль, измерялась величина развязки, которая в зависимости от направления поляризации света изменялась от 20 до 38 ДБ.

Анализ расчетов и экспериментальных результатов показывает, что путем вращения магнитооптического элемента оптического вентиля Фарадея можно существенно влиять на такой важный параметр, как величина развязки, в случае использования неоднородно-намагниченных оптических элементов со слабым неоднородным двулучепреломлением.

Автор благодарит Т.В. Зарубину и Т.В. Смирнову за предоставление магнитооптических стекол.

Список литературы

- [1] Tabor W.J., Chen F.S. // J. Appl. Phys. 1969. V. 40. N 6. P. 2760-2765.
- [2] Shiraishi K., Sugaya S., Kawakami // Appl. Opt. 1984. T. 23. N 7. P. 1103-1106.
- [3] Ярув А., Ют П. Оптические волны в кристаллах. М.: Мир, 1987. 616 с.
- [4] Брыксин В.В., Коровин Л.И., Петров М.П., Хоменко А.В. // ЖТФ. 1987. Т. 57. В. 10. С. 1918-1924.
- [5] Зарубина Т.В., Петровский Г.Т. Оптический журнал. 1992. В. 11. С. 48-52.

Физико-технический
институт им.А.Ф.Иоффе
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
30 декабря 1993 г.