

Изолятор Фарадея с развязкой 45 дБ при средней мощности излучения 100 Вт

Н.Ф.Андреев*, О.В.Палашов*, А.К.Потемкин*, Д.Х.Райтци**, А.М.Сергеев*, Е.А.Хазанов*

Экспериментально продемонстрировано, что при большой средней мощности излучения развязка в недавно предложенной схеме изолятора Фарадея значительно больше, чем в традиционной схеме. Создан изолятор Фарадея с развязкой 45 дБ при мощности излучения 100 Вт. Полученные данные свидетельствуют о возможности создания изолятора с развязкой 30 дБ при средней мощности лазерного излучения 1 кВт.

Ключевые слова: изолятор Фарадея, термонаведенное двулучепреломление, деполяризация излучения.

Увеличение средней мощности лазеров при сохранении дифракционной расходимости излучения – одна из важнейших задач квантовой электроники. При создании и эксплуатации таких лазеров приходится учитывать нагрев оптических элементов из-за поглощения лазерного излучения. В изоляторах Фарадея эта проблема стоит особенно остро вследствие высокого коэффициента поглощения (свыше 10^{-3} см^{-1}) и большой длины магнитоактивной среды (несколько сантиметров). Впервые ухудшение развязки, вызванное поглощением излучения, было исследовано в [1–3]. В [2] были предложены и теоретически рассчитаны две новые схемы изолятора Фарадея, позволяющие существенно уменьшить влияние поглощения. Проведенные исследования [2, 4, 5] показали, что как для стеклянной, так и для кристаллической магнитоактивной среды лучшей является схема, состоящая из двух 22.5-градусных фарадеевских вращателей и расположенного между ними 67.5-градусного взаимного кварцевого вращателя (КВ). Далее будем называть эту схему схемой с КВ.

В [5] обе новые схемы были исследованы в модельном эксперименте. Использовался Nd:YAG-лазер, мощность второй гармоники которого составляла всего 5 Вт. Было установлено, что вследствие очень большого (0.05 см^{-1}) поглощения в магнитоактивном стекле тепловые эффекты преобладают в традиционной схеме, состоящей из одного 45-градусного фарадеевского вращателя, в то время как в новых схемах они эффективно подавлены. Исследования новых схем при использовании кристаллической магнитоактивной среды, обладающей высокой теплопроводностью, до последнего времени не проводились. Такой средой может служить кристалл тербий-галлиевого граната (TGG). В настоящей работе приведены результаты измерений так называемой неразвязки γ изоляторов Фарадея на основе TGG с ориентацией [001], собранных как по традиционной схеме, так и по схеме с КВ, при мощности излучения до 100 Вт.

Изолятор Фарадея состоял из двух одинаковых кристаллов TGG с ориентацией [001] диаметром 10 мм и длиной 11 мм, взаимного КВ и клиньев из исландского шпата, используемых в качестве поляризаторов. В экспериментах использовался непрерывный Nd:YLF-лазер ($\lambda = 1053 \text{ нм}$) с мощностью 50 Вт в гауссовом пучке, диаметр которого по уровню $1/e^2$ составлял 2.5 мм. Излучение проходило через изолятор в прямом и обратном направлениях, что с точки зрения нагрева эквивалентно удвоению мощности лазера. Для корректного сравнения схемы с КВ с традиционной схемой мы использовали в последней те же два кристалла TGG, но без КВ.

Результаты измерений неразвязки γ как функции мощности излучения приведены на рис.1. В [2, 3] было предсказано, что по сравнению с влиянием фотоупругого эффекта влиянием температурной зависимости постоянной Верде можно пренебречь, если минимизировать γ поворотом оси поляризатора при каждом значении мощности. Направление кристаллографической оси [100] относительно оси поляризации излучения также оптимизировалось в соответствии с [2]. Экспериментальные точки на рис.1 отражают минимальную неразвязку, т. е. ее значение при оптимальных положениях поляризатора и кристаллографической оси, сплошной линией показана теоретическая зависимость для традиционной схемы:

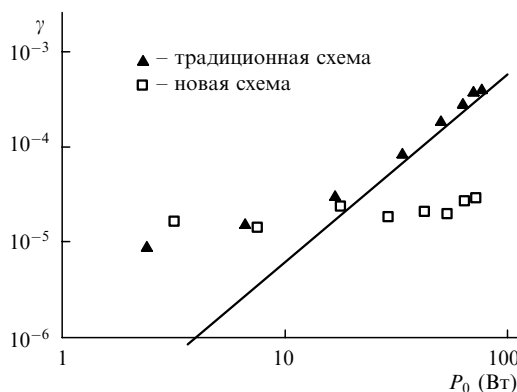


Рис.1. Экспериментальные зависимости γ от мощности лазерного излучения в традиционной и в новой схемах изолятора Фарадея, сплошная линия – теоретическая зависимость для традиционной схемы.

*Институт прикладной физики РАН, Россия, 603600 Н.Новгород, ул. Ульянова, 46

**NFB Physical department University of Florida, Gainesville, FL 32611

$$\gamma = 0.014 \left(\frac{L \alpha Q}{\lambda \kappa} P_0 \right)^2,$$

где

$$Q = \left(\frac{1}{L} \frac{dL}{dT} \right) \frac{n_0^3}{4} \frac{1 + \nu}{1 - \nu} (p_{11} - p_{12});$$

ν – коэффициент Пуассона; κ – теплопроводность; α – коэффициент поглощения; n_0 – показатель преломления; $p_{i,j}$ – коэффициенты фотоупругости; L – длина магнитоактивной среды; P_0 – мощность лазерного излучения [2, 3]. Для используемых нами кристаллов TGG $Q\alpha = 7.7 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ [6]; $\kappa = 7.4 \text{ Вт/К} \cdot \text{м}$.

При малой мощности лазера γ не зависит от P_0 , т.к. определяется остаточным двулучепреломлением в кристаллах TGG, неидеальностью поляризаторов и неоднородностью магнитного поля. В традиционной схеме при больших мощностях неразвязка определяется, главным образом, тепловыми эффектами. При этом результаты эксперимента хорошо согласуются с теорией (см. рис.1), подтверждая то, что при использовании TGG температурной зависимостью постоянной Верде можно пренебречь [2, 3]. Для стекла это было экспериментально подтверждено в [5].

Для схемы с КВ неразвязка не зависит от P_0 во всем исследованном диапазоне мощностей, что говорит о скомпенсированности тепловых поляризационных искажений. Оценим неразвязку исследованного изолятора при больших мощностях. Для приведенных выше значений $Q\alpha$ и κ формулы из [2] дают $\gamma = 30 \text{ дБ}$ при $P_0 = 450 \text{ Вт}$. В [6] было показано, что существуют кристаллы TGG с $Q\alpha = 3.2 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, для которых $\gamma = 30 \text{ дБ}$ при $P_0 = 1100 \text{ Вт}$.

Проведенные эксперименты подтвердили способность схемы изолятора Фарадея, состоящей из двух кристаллов TGG с ориентацией [001], поворачивающих плоскость поляризации на 22.5° каждый, и 67.5 -градусного КВ между ними, обеспечить существенно большую (в 15 раз) развязку по сравнению с традиционной схемой при мощности излучения 100 Вт. Экспериментально подтверждено, что при использовании TGG влиянием на развязку температурной зависимости постоянной Верде можно пренебречь по сравнению с влиянием фотоупругого эффекта. Полученные результаты свидетельствуют о возможности создания изолятора Фарадея с развязкой 30 дБ при киловаттном уровне мощности.

Работа поддержана Национальным научным фондом США (NSF) (грант PHY-9900786) и РФФИ (грант № 99-02-17257).

1. Khazanov E.A., Kulagin O.V., Yoshida S., Reitze D. *Proc. CLEO '98* (San Francisco, 1998, p. CWF34).
2. Хазанов Е.А. *Квантовая электроника*, **26**, 59 (1999).
3. Khazanov E.A., Kulagin O.V., Yoshida S., Reitze D., Tanner D. *IEEE J. Quantum Electron.*, **35**, 1116 (1999).
4. Хазанов Е.А. *Квантовая электроника*, **30**, 147 (2000).
5. Khazanov E., Andreev N., Babin A., Kiselev A., Palashov O., Reitze D. *J. Opt. Soc. Amer. B*, **17**, 99 (2000).
6. Khazanov E., Andreev N., Palashov O., Poteomkin A., Sergeev A., Mehl O., Reitze D. *Appl. Optics* (to be published).

N.F.Andreev, O.V.Palashov, A.K.Potemkin, D.H.Reitze, A.M.Sergeev, E.A.Khazanov. A 45-dB Faraday isolator for the 100-W average radiation power.

It is shown experimentally that at large average radiation powers, the optical isolation in the recently proposed scheme of a Faraday isolator is substantially higher than that for a conventional scheme. The Faraday isolator with the 45-dB optical isolation at the radiation power of 100 W is implemented. The data obtained suggests that a 30-dB Faraday isolator for the average laser radiation power of 1 kW can be created.