

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

УДК 621.317

**МАГНИТООПТИКА: ОСНОВЫ ТЕОРИИ
И ПРИМЕНЕНИЕ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ
И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ****М. А. УРАКСЕЕВ*, Д. А. МАРЧЕНКО****

*Факультет авиационного приборостроения УГАТУ

**Факультет техники сервиса УТИС

Тел: (3472) 23 77 89 E-mail: jumbo@ufanet.ru

В статье представлены элементы теории возникновения основных магнитооптических эффектов. Рассмотрены устройства, принцип действия которых основан на магнитооптических эффектах Фарадея и Керра

Магнитооптика; эффекты Фарадея и Керра; оптические датчики тока и магнитного поля; магнитооптическая запись

ВВЕДЕНИЕ

Магнитооптика является разделом физики, изучающим взаимодействие света с намагниченным веществом. Начало развития магнитооптики как науки связывают с открытием английским физиком Майклом Фарадеем в 1846 г. явления поворота плоскости поляризации света в стекле, помещенном в магнитное поле. Это был первый магнитооптический эффект, который впоследствии получил название эффекта Фарадея. Позднее были открыты и другие магнитооптические эффекты: Керра (1876), Зеемана (1896), Коттона-Мутона (1907) и др.

На первом этапе развития магнитооптики проводились исследования, посвященные изучению изменения характеристик света, проходящего через намагниченное вещество. В этот классический период ученых в основном интересовали свойства самого света. Вторым, современным, этапом начался в 50-х годах, с появлением новых методов изучения взаимодействия света с веществом. В настоящее время большой интерес вызывают уже не столько изменения, происходящие со светом, проходящим через вещество, сколько изучение особенностей строения вещества, которые приводят к этим изменениям. На сегодняшний день многие достижения прикладной магнитооптики реализованы в элементах и устройствах вычислительной техники и системах управле-

ния [1–4], а ведущие мировые производители компьютерной и электронно-измерительной техники наращивают объемы производства оптических измерительных элементов и устройств, а также запоминающих устройств, что объясняется их высокими технико-экономическими характеристиками.

Интерес к магнитооптическим эффектам обусловлен также их широким применением в физике и оптике:

- определение эффективной массы носителей заряда или их плотности в полупроводниках;
- амплитудная модуляция лазерного излучения для оптических линий связи и определение времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках;
- изготовление оптических невзаимных элементов;
- визуализация доменов в ферромагнитных пленках;
- магнитооптическая запись и воспроизведение информации как в специальных, так и бытовых целях.

**1. ОСНОВНЫЕ МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ
ЭФФЕКТЫ**

Оптические эффекты, в которых проявляется влияние магнитного поля на излучение света некоторым источником или на его рас-

пространение в веществе, находящемся в этом поле, называются магнитооптическими.

Все магнитооптические явления условно можно разделить на две группы:

I. Волновые магнитооптические явления, обусловленные рассеянием света на волнах намагниченности — спиновых волнах.

II. Магнитооптические явления, связанные с изменением энергетического спектра и волновых функций вещества под действием магнитного поля или обменного взаимодействия (именно эта группа явлений имеет наибольший практический интерес). В этой группе магнитооптических явлений различают четыре основных магнитооптических эффекта [5]:

• **Эффект Зеемана.** Влияние магнитного поля непосредственно сказывается на спектре атома или молекулы, вызывая расщепление и специфическую поляризацию спектральных линий и полос. При этом можно исследовать спектральный состав света, излучаемого как параллельно магнитному полю (продольный эффект), так и перпендикулярно ему (поперечный эффект).

При нормальном продольном эффекте вместо наблюдаемой в отсутствие поля одной спектральной линии частотой ω_0 , как правило, неполяризованной, наблюдаются две симметрично смещенные относительно ω_0 линии ω' и ω'' . Обе они оказываются поляризованными по кругу. При нормальном поперечном эффекте наблюдаются три линейно поляризованные линии — несмещенная линия ω_0 с электрическим вектором, направленным вдоль поля, и две линии ω' и ω'' , смещенные так же, как и при продольном эффекте, но, в отличие от него, с электрическим вектором, перпендикулярным направлению магнитного поля, описываемые выражениями:

$$\begin{aligned}\omega' &= -\omega_L + \sqrt{(\omega_0^2 + \omega_L^2)}; \\ \omega'' &= \omega_L + \sqrt{(\omega_0^2 + \omega_L^2)},\end{aligned}\quad (1)$$

где ω_0 — частота колебаний невозмущенного атома; ω_L — ларморова частота.

Таким образом, в магнитном поле оба колебания, перпендикулярные к силовым линиям, имеющие при отсутствии возмущения одинаковую частоту, переходят в два колебания с различными частотами, из которых одна ω' меньше, а другая ω'' больше первоначальной частоты ω_0 . Среда, помещенная в магнитное поле в продольном направлении, приобретает различные поляризуемости для

правой и левой волны. В итоге это приводит к вращению плоскости поляризации. В направлении колебаний световой волны, параллельной полю, собственные частоты молекул не меняются под действием поля, и, следовательно, поляризуемость и показатель преломления среды остаются такими же, как и в отсутствие поля.

• **Эффект Фарадея.** Под эффектом Фарадея понимают вращение плоскости поляризации и одновременное возникновение эллиптичности при прохождении первоначально линейно поляризованного света через тонкие намагниченные пленки ферромагнитного материала. Опытное изучение этого явления показало, что угол поворота плоскости поляризации пропорционален первой степени напряженности внешнего магнитного поля, постоянной Верде (коэффициенту, зависящему от физических свойств вещества, температуры и длины волны света) и толщине слоя вещества, помещенного в магнитное поле.

• **Эффект Коттона–Мутона.** Если линейный поляризованный свет падает в нормальном направлении на плоскопараллельный слой вещества, находящийся в параллельном ему магнитном поле, то две компоненты прошедшего в вещество света распространяются с различными значениями показателя преломления. В результате свет, прошедший через вещество, оказывается эллиптически поляризованным. Для наблюдения эффекта образец помещается в магнитное поле и линейно поляризованный свет распространяется под углом 45° к направлению распространения магнитного поля. В магнитном поле вещество становится двупреломляющим, причем величина двупреломления описывается соотношением

$$\Delta n = CH_0^2 \lambda, \quad (2)$$

где C — константа Коттона–Мутона (коэффициент, зависящий от материала образца); H_0 — напряженность внешнего магнитного поля; λ — длина волны света. Обычно C — очень малая величина $\approx 10^{-13} \text{ см}^{-1} \text{ Э}^{-2}$. В жидких кристаллах $C \approx 10^{-8} - 10^{-10} \text{ см}^{-1} \text{ Э}^{-2}$. Поскольку этот эффект очень мал, то для его наблюдения необходимы достаточно сильные магнитные поля. Этот эффект аналогичен квадратичному электрооптическому эффекту Керра.

• **Эффект Керра.** К эффектам Керра относятся нечетные по намагниченности магнитооптические эффекты, возникающие при отражении света от намагниченного зеркала. Установлено, что магнитооптический эф-

эффект Керра проявляется только в ферромагнетиках и, кроме особых магнитных свойств, необходимым условием его существования является наличие поглощения света, то есть комплексность показателя преломления вещества. Влияние намагниченности на отраженный свет существенно зависит и от взаимного расположения поверхности зеркала, плоскости падения и направления вектора намагниченности. В зависимости от направления намагниченности зеркала эффект Керра подразделяется на полярный, меридиональный и экваториальный. При первых двух эффектах происходит поворот плоскости поляризации света, а при экваториальном эффекте — модуляция коэффициента отражения.

Наибольшее распространение в технике получили магнитооптические эффекты Фарадея и Керра. Рассмотрим некоторые новейшие разработки как в области создания систем памяти для ЭВМ, так и в области оптических измерительных систем.

2. МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ НОСИТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ

Необходимость наличия накопителя со сменным диском на персональном компьютере очевидна. Каждый пользователь хотя бы раз в жизни сталкивался с проблемой переноса данных, объем которых превышал бы стандартные 1,44 Мб трехдюймовой дискеты. Технологических решений переноса больших объемов информации на сегодняшний момент предлагается немало, но только конструкция современных магнитооптических накопителей (МО) признана наиболее совершенной.

Использование магнитооптических дисков в системах памяти для ЭВМ — история недавнего прошлого. Идея зародилась в фирме IBM в начале 70-х гг., но первые промышленные образцы создала фирма Sony. На рынке магнитооптические диски и накопители появились в середине 80-х гг., и по мере их совершенствования и понижения цены они стали пользоваться большим спросом.

Симбиоз магнитной и лазерной технологии у них выражен наиболее ярко. Для считывания информации с оптических дисков и модулей памяти, элементарная ячейка которых представляет собой цилиндрический магнитный домен, с успехом применяется магнитооптический эффект Керра [6]. Сформированный на магнитооптическом диске бит информации обычно представляет собой цилиндр диаметром около 1 мкм и высотой 0,1

мкм. Намагниченность тонких пленок таких материалов, как $MnVi$, ортоферриты, $CdTFe$, перпендикулярна поверхности, поэтому если малый участок пленки (например $FeTbCo$), помещенный в магнитное поле, нагреть лучом лазера до температуры выше точки Кюри, то этот участок намагничивается (рис. 1). Когда пленку с такой записью облучают линейно поляризованным светом, различие углов поляризации света, отраженного от соседних участков с противоположной намагниченностью, позволяет считывать записанную информацию, пропуская отраженный свет через анализатор. Таким образом, отраженный луч лазера содержит информацию о битности (логическом нуле или единице) магнитных кристаллов, которые потом обрабатываются компьютером.

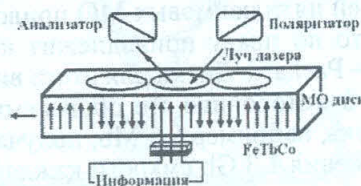


Рис. 1. Принцип записи МО дисков с использованием эффекта Керра

Особенностью записи данных на МО диск является то обстоятельство, что запись всегда происходит в два этапа: сначала удаление данных, потом запись. Решить эту проблему удалось только с появлением дисков LIMDOW (Light Intensity Modulation Direct Overwrite). Они содержат дополнительный магнитный слой и позволяют производить запись за один проход, без предварительного удаления данных. Магнитооптическим материалом для МО дисков обычно является железный гранат с замещенным висмутом (постоянная Верде 200–400 мин/(Гс·см)).

В настоящее время наибольшей популярностью на рынке компьютеров пользуются магнитооптические накопители формата 5,25" (максимальная емкость дисков — 5,2 Gb) и 3,5" (1,3 Gb), емкость которых более чем в тысячу раз превышает емкость стандартных флоппи-дисков. Лидером в производстве трехдюймовых МО дисководов является компания Fujitsu. На сегодняшний день существуют МО приводы емкостью 128, 230, 540, 640 и 1300 Мб, но первые два типа уже сняты с производства, так что стандартом принято считать 640 Мб. Стоит отметить, что магнитооптические накопители выпускаются в основном с LPT или SCSI интерфейсом, хотя существуют и IDE-модели

Тип измерительного устройства	Характеристики измерительного устройства				
	измеряемая величина	физическое явление	детектируемая величина	оптическое волокно	пределы измерений, примечания
Кольцевой интерферометр	Сила тока	Эффект Фарадея	Фаза световой волны	Одномод.	Волокно с сохранением поляризации
Интерферометр Маха-Цендера	Гидроакустическое давление	Фотоупругость	»	»	1...100 рад·атм/м
Интерферометр Маха-Цендера	Сила тока, напряженность магнитного поля	Магнитострикция	»	»	Чувствительность 10^{-9} А/м
Неинтерферометрическая	»	Эффект Фарадея	Угол поляризации	»	Необходимо учитывать ортогональные моды
Интерферометр Маха-Цендера	Ускорение	Механическое сжатие и растяжение	Фаза световой волны	»	1000 рад/г

(например, Fujitsu M2541BN). Среди производителей пятидюймовых МО приводов первое место по праву принадлежит компании Hewlett-Packard. Диски для этого вида накопителей двусторонние, т. е. общая емкость одного диска, например 2,6 Mb, получается путем сложения 1,3 Gb емкости каждой из сторон.

К существенным достоинствам МО накопителей можно отнести надежную работу, устойчивость к перепадам температуры и действию внешних магнитных полей, длительный срок хранения информации (до ста лет), а также обратную совместимость (трехдюймовый привод на 640 Mb может читать диски объемом 540, 230 и 128 Mb). Недостаток этих приводов заключается в медленной записи данных. Лишь МО диски, записываемые за один проход, позволяют увеличить скорость записи.

Сегодня на рынке МО дисков предлагается более 150 моделей различных фирм. Одно из лидирующих положений на этом рынке занимает компания Pinnacle Micro Inc. Для примера, ее дисковод Sierra 1.3 Gb обеспечивает среднее время доступа 19 мс и среднее время наработки на отказ 80000 часов. Для серверов локальных сетей и рабочих станций компания Pinnacle Micro предлагает целый спектр многодисковых систем емкостью 20, 40, 120, 186 Gb и даже 4 Tb. Для систем высокой готовности Pinnacle Micro выпускает дисковый массив Array Optical Disk System, который обеспечивает эффективное время доступа к данным не более 11 мс при скорости передачи данных до 10 Мб/с.

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА

Принцип действия большинства оптических датчиков основан на продольном магнитооптическом эффекте Фарадея (таблица).

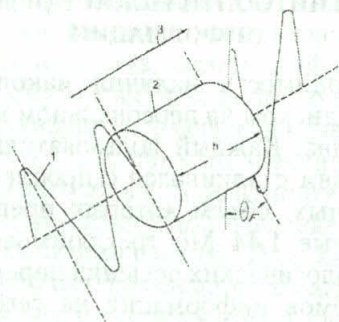


Рис. 2. Эффект Фарадея

Он заключается во вращении плоскости поляризации (рис. 2) линейно поляризованного света 1 и одновременном возникновении эллиптичности при прохождении линейно поляризованного света через тонкие намагниченные пленки ферромагнитного материала 2, находящегося во внешнем магнитном поле 3. Если линейно поляризованный свет, проходящий через магнитооптический элемент, представить в виде суммы левосторонней и правосторонней круговой поляризации, то из-за циклотронного вращения электронов коэффициенты преломления каждой из них будут различными. Поэтому на выходе из магнитооптического элемента возникает разность фазовых скоростей составляющих световой волны, что и приводит к повороту плоскости поляризации светового луча [7]:

$$\theta_F = V \int_0^h H dh, \quad (3)$$

где h — оптическая длина пути, пройденного светом в магнитооптическом материале; V — постоянная Верде; H — напряженность внешнего магнитного поля.

В качестве чувствительного элемента оптических датчиков тока и магнитного поля на эффекте Фарадея (ДТМП) используют оптические волокна, кристаллы и кристаллические пленки. К достоинствам оптических волокон можно отнести:

- небольшие световые потери (0,154 дБ/км);
- небольшой диаметр (около 125 мкм) и массу (примерно 30 г/км);
- эластичность (минимальный радиус изгиба 2 мм);
- механическую прочность (нагрузка на разрыв достигает 7 кг);
- высокую электроизоляционную прочность (например, волокно длиной 20 см выдерживает напряжение до 10000 В);
- высокую коррозионную стойкость, особенно к химическим растворителям.

Но положительный момент от использования оптических волокон в ДТМП заключается только в увеличении длины пути, пройденного светом в волокне.

К основным же недостаткам волокон можно отнести как невозможность равномерного размещения всей длины волокна параллельно направлению распространения магнитного поля, так и малое значение постоянной Верде. Поэтому использование оптических волокон в качестве чувствительных элементов ДТМП не получило широкого распространения.

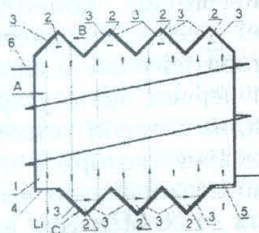


Рис. 3. Функциональная схема оптического датчика тока

Оптический датчик тока (рис. 3) — быстродействующее оптоэлектронное устройство, предназначенное для измерения электрического тока и магнитного поля [8]. Датчик может быть использован в магнитометрии для передачи и обработки оптической информации. Чувствительный элемент может быть изготовлен из ферромагнетиков, имеющих в структуре магнитные атомы — $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG), $CdFe_3O_{12}$, а также ортофер-

ритов, образующих цилиндрические магнитные домены — $MnBi$, EuO , $CdTFe$.

Линейно поляризованный луч света Li попадает в магнитооптический элемент 1 (имеющий выступы 2 в виде равнобедренных прямоугольных треугольников) через площадку 4, проходит по пути А и падает на светоотражающую поверхность 3 под углом в 45° . Далее луч света отражается от нее под углом 90° и падает под углом 45° на светоотражающую поверхность В. Отражаясь от нее под углом в 90° , луч света по пути, равному длине пути А, попадает на светоотражающую поверхность С. Таким образом, луч света выходит из магнитооптического элемента через площадку для выхода света 5, пройдя путь, равный h .

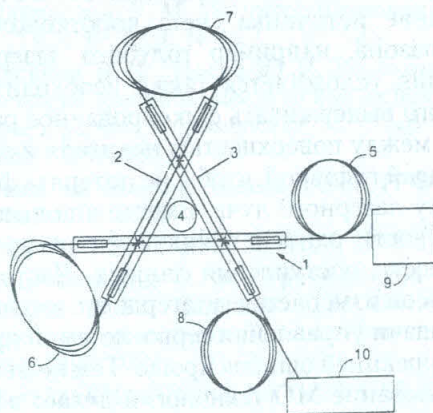


Рис. 4. Функциональная схема оптического датчика магнитного поля

Основными элементами конструкции оптического датчика магнитного поля [9], изображенного на рис. 4, являются три локальных полевых датчика 1, 2 и 3, между которыми находится проводник 4. Принцип действия каждого полевого датчика основан на магнитооптическом эффекте Фарадея. По проводнику протекает электрический ток. Все три датчика соединены между собой последовательно посредством оптических волокон связи 5, 6, 7 и 8. Каждый полевой датчик является отдельным, жестко закрепленным прямолинейным участком оптического волокна, на длине которого и происходит поворот плоскости поляризации света, проходящего по волокну от источника 9 (лазерный диод). Луч света от источника 9 последовательно проходит через волноводы связи 5, 6, 7 и 8, полевые датчики 1, 2 и 3 и попадает в фотодиод 10, преобразующий световой сигнал в электрический, который потом направляется в измерительное устройство. Отсутствие поляризаторов в конструкции устройства объясняется использованием поляриза-

ционных оптических волокон 5, 6, 7 и 8 марки FS-PZ-4611/200SA с рабочей длиной волны до 850 нм. Для участков 1, 2 и 3 используются оптические волокна марки FS-SM-4611 с рабочей длиной волны до 780 нм.

4. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

При попытке совместить в магнитооптических накопителях динамические и емкостные характеристики винчестеров разработчики сталкиваются с серьезными трудностями. Наиболее актуальной является задача увеличения плотности записи МО дисков. Луч света очень трудно сфокусировать в достаточно малую точку. Одним из способов решения поставленной задачи может стать использование источника света коротковолнового диапазона, например голубого лазера. Ситуация усложняется также необходимостью строго выдерживать фиксированное расстояние между поверхностью носителя и записывающей головкой, чтобы не потерять фокусировку лазерного луча. Вместе с повышением плотности записи появляются невероятные скорости поступления данных. Частота импульсов измеряется гигагерцами, что не делает задачи управления сервосистемой привода и коррекцией ошибок проще. Тем не менее использование МО технологии делает возможным колоссальное повышение плотности записи (до 250 Гбайт/дюйм²).

Минимальный размер светового пятна есть отношение длины волны излучаемого лазером света к удвоенной числовой апертуре фокусирующей линзы. Однако числовая апертура для линзы в воздухе не может превышать единицы вследствие дифракции. Преодолеть ограничение, уменьшив влияние дифракции, можно, поместив между поверхностью и линзой вещество с более высоким показателем преломления, нежели воздух.

В Стэнфордском университете исследователи использовали для этих целей масло, и метод, соответственно, получил название жидкостной иммерсионной микроскопии (Liquid Immersion Microscopy). Но жидкость не вполне подходит для конструирования винчестеров, поэтому в настоящее время изучается возможность использования метода твердотельной иммерсионной микроскопии. Согласно этому методу, вместо масла предлагается использовать полушарие из твердого материала, обладающего высоким коэффициентом рефракции. Такая иммерсионная линза должна контактировать с поверхностью диска, но пятно света необходимого диамет-

ра существует только внутри нее. Проблему можно решить, используя эффект «эфмерной связи» (Evanescent Coupling). Он позволяет свету беспрепятственно преодолевать небольшой зазор, остающийся между линзой головки и поверхностью диска. При расположении головки на высоте менее одной длины волны излучения используемого лазера осуществляется «нуль-транспортировка» света между линзой и магнитной поверхностью. В идеале таким способом можно передать до 50 % энергии луча.

Парящую вблизи поверхности диска лазерную оптическую головку сконструировали также инженеры компании Quantum. Потоки воздуха, возникающие при вращении диска, удерживают ее на необходимой высоте без применения сложных и дорогостоящих сервосистем. Лазерное излучение нагревает магнитный слой до 300°С за 1 нс. Вмонтированная в головку планарная электромагнитная катушка генерирует поле необходимой полярности. Она может генерировать импульсы быстрее, чем записанный участок поверхности покинет рабочую зону, поэтому запись ведется с наложением одного домена поверх другого. В результате каждый бит представлен не полной окружностью, а лишь неким подобием полумесяца. Благодаря наложению удается дополнительно повысить плотность записи. При использовании традиционных магнитных покрытий специалистам компании удалось сформировать домены диаметром 40 нм.

Инженерами компании Quintum разрабатывается методика записи дальним полем (Far-Field Recording). Конструкция привода совмещает в себе достоинства винчестерной, магнитооптической и оптической технологий. От первых взято устройство парящей головки, на которой установлено миниатюрное зеркальце, которым управляет сервосистема, поддерживающая частоту перемещений вплоть до 16 кГц. При высокой плотности размещения дорожек (до 35000 tpi — track per inch) только подвижное зеркало может обеспечить приемлемую скорость позиционирования. Частота изменения положения двухступенчатой сервосистемы (коромысло + зеркало) составляет 2,5 кГц, что существенно превышает эффективность традиционных механизмов. В качестве источника света используется стационарный лазер, излучение которого подается к головке по световоду. Отражаясь от зеркала, луч проходит через фокусирующую линзу (диаметром 350 мкм) и нагревает магнитное покрытие диска в обла-

сти диаметром 0,55 мкм. Фокус выбран таким образом, что головка находится на большем расстоянии от диска (в десять раз дальше, чем это принято в современных винчестерах). Магнитное поле планарной электромагнитной катушки определяет ориентацию вектора намагничивания нагретого выше точки Кюри участка в вертикальной плоскости (вверх или вниз). Считывание производится поляризованным лучом лазера меньшей мощности, который, отражаясь от намагниченной поверхности, слегка меняет свою поляризацию вследствие эффекта Керра. Быстрое перенаправление излучения от лазера к активной в данный момент головке обеспечивает специально спроектированный высокопроизводительный коммутатор, способный осуществлять переключения за 1 мс. В качестве подложки для дисков можно использовать мягкий пластиковый субстрат, а в качестве магнитного покрытия — аморфные сплавы из редкоземельных переходных металлов, не образующие отдельных кристаллических зерен.

Перспективным направлением развития магнитооптических измерительных элементов и устройств является создание новых материалов, используемых в качестве чувствительного элемента, обладающих большими значениями постоянной Верде. На сегодняшний день одним из таких материалов является алюмоиттриевый гранат $Y_3Al_5O_{12}$, постоянная Верде которого равна 34,5 угл. мин/Э·см на длине волны излучения 0,7 мкм. Изучается возможность измерения слабых магнитных полей путем охлаждения чувствительных элементов ДТМП до низких температур. В настоящий момент имеются данные о значительном возрастании постоянной Верде у парамагнетиков (например EuF_2) с понижением температуры [10]. Увеличение интенсивности проходящего через ферромагнетик EuO излучения при температуре 10 К и длине волны света 0,8 мкм может составить 30 %.

Изучается возможность использования различных по геометрии вариантов конструкции чувствительных элементов, способствующих увеличению длины пути, пройденного светом в магнитооптическом веществе, а также различных дополнительных приспособлений, позволяющих эффективно концентрировать внешнее магнитное поле в магнитооптическом элементе в направлении распространения лазерного излучения. Так как некоторые материалы чувствительны к сильным перепадам температуры, предлагаются различные дополнительные схемы компенсации температурного дрейфа для ДТМП [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 9626452 (Германия). Кл. G02F 1/11. 1997.
2. Пат. 6070654 (Япония). Кл. G02F 2/34. 1997.
3. Ураксеев М. А., Романченко А. Ф., Марченко Д. А. Информационно-измерительные системы с элементами магнитооптики // Сервис большого города: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 425-летию Уфы. Уфа: УТИС, 1999. С. 49–51.
4. Балбашов А. М., Лисовский Ф. В., Раев В. К. и др. Элементы и устройства на цилиндрических магнитных доменах. М.: Радио и связь, 1987. 277 с.
5. Рандошкин В. В., Червоненкис А. Я. Прикладная магнитооптика. М.: Энергоатомиздат, 1990. 310 с.
6. Майклджен У. М. Магнитооптическая запись // ТИИЭР. 1986. № 11. С. 112–123.
7. Бусурин В. И., Носов Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. М.: Энергоатомиздат, 1990. 295 с.
8. Свид. на полезн. модель 14683 (РФ). Кл. G02F 1/09. 2000.
9. Пат. 5736737 (США). Кл. H01J 5/16. 1998.
10. Константинова А. Ф., Гречушников Б. Н., Бокуть Б. В., Валяшко Е. Г. Оптические свойства кристаллов. Минск: Навука і тэхніка, 1995. 302 с.
11. Пат. 5844710 (США). Кл. G02F 1/09. 1998.

ОБ АВТОРАХ

Ураксеев Марат Абдулович, профессор кафедры информационно-измерительной техники УГАТУ. Дипл. инж.-электромеханик (Ташкентск. политехн. ин-т, 1963). Д-р техн. наук по элементам и устройствам вычислительной техники и систем управления (заш. в МИЭТ, 1982). Исследования в области создания новых средств и методов измерения физических величин.



Марченко Дмитрий Александрович, аспирант кафедры МАБН УТИС. Дипл. инженер по проектированию и сервису бытовых машин и приборов (УТИС, 1998). Работает над диссертацией о влиянии магнитных полей на биологические объекты.

