

УДК 004.85

**В. В. Петров, А. А. Крючин, А. И. Брицкий,
А. С. Лапчук, С. М. Шанойло**

Институт проблем регистрации информации НАН Украины
ул. Н. Шпака, 2, 03113, Киев, Украина
e-mail: petrov@ipri.kiev.ua
тел. (044)-456-83-89

Пути совершенствования характеристик запоминающих устройств большой емкости

Представлены результаты анализа технологий записи информации с высокой плотностью, показано, что создание накопителей и носителей информации, удовлетворяющих требованиям современных информационных систем, возможно только с использованием нанотехнологий. Приведены результаты, полученные авторами при разработке физико-технических основ систем сверхплотной записи информации.

Ключевые слова: плотность записи, лазерное излучение, наноструктуры, структурированные среды, ближнее поле.

Введение

За последние двадцать лет плотность записи и емкость магнитных дисковых и ленточных запоминающих устройств возросла в сотни раз, в десятки раз возросла емкость оптических дисковых носителей. Быстро увеличивается емкость твердотельных носителей информации, которая уже превышает емкость некоторых типов оптических и магнитных дисков. С увеличением плотности записи информации на этих типах носителей все большее внимание уделяется повышению надежности хранения информации и обеспечению длительных сроков ее хранения. Размеры отпечатков, которыми кодируется записываемая на дисковых носителях информация, а самое главное, допуски на точность их формирования, перешли в область наноразмеров (< 100 нм). Во флэш-памяти размеры областей хранения отдельных информационных единиц тоже составляют десятки нанометров.

Для магнитных дисков со времени их появления в 1956 году наблюдается стремительное увеличение плотности записи и емкости самих накопителей. Емкость магнитных дисков увеличилась от 5 Мбайт (первый дисковый накопитель IBM 305) до сотен гигабайт на одной рабочей поверхности современных магнитных дисков. Одной из основных проблем создания магнитных дисков со сверхплотной записью является обеспечение термодинамической устойчивости записанных отпечатков (сигналограмм). Для решения этой проблемы предлагается использование структурированных регистрирующих сред (регистрирующая среда представляет собой отдельные, не контактирующие между собой, наноразмерные столбики ферромагнитного материала или частички

© В. В. Петров, А. А. Крючин, А. И. Брицкий, А. С. Лапчук, С. М. Шанойло

ферромагнитного материала, окруженные оксидным слоем), и тонкопленочных (в том числе многослойных) сред с высокой коэрцитивной силой, запись информации на которые осуществляется с дополнительным локальным нагревом (HAMR-технология).

Совершенствование технологии изготовления магнитных лент за счет использования вакуумного нанесения однородных металлических регистрирующих сред, защиты регистрирующего магнитного слоя алмазоподобными пленками с высокой механической прочностью (специальное покрытие наносится и на нерабочую поверхность ленты), специальных высокопрочных материалов для основы магнитных лент позволило развернуть производство лент емкостью сотни гигабайт со скоростью передачи данных десятки Мбайт/с и гарантированным сроком хранения информации на них до 30–50 лет.

Оптические методы записи информации начали интенсивно исследоваться с середины шестидесятих годов прошлого столетия. За этот период оптические накопители стали массовыми устройствами, обеспечивающими запись с высокой скоростью и хранение больших массивов информации, оптические диски для них выпускаются миллиардными тиражами. Среди других технологий, обеспечивающих регистрацию больших объемов информации, оптические методы записи информации привлекают к себе внимание высокой надежностью систем записи и возможностью обеспечения длительного хранения записанной информации.

Совершенствование характеристик систем оптической записи информации связано с применением более коротковолновых лазеров. Переход от лазеров ближнего инфракрасного диапазона до голубых лазеров ($\lambda = 405$ нм) позволил почти в 40 раз повысить емкость оптических носителей. Повышение емкости оптических носителей, конечно, было бы невозможно без создания малогабаритных высокоапертурных микрообъективов ($A = 0,85–0,95$). Возможности дальнейшего повышения емкости оптических носителей за счет улучшения характеристик дифракционно-ограниченных оптических систем фокусировки лазерного излучения уже практически исчерпаны. В настоящее время определены основные направления совершенствования характеристик систем оптической записи информации:

- использование иммерсионных систем записи информации;
- применение многоуровневой и объемной записи;
- использование ближнеполевых систем регистрации информации;
- повышение точности сервоприводов.

В настоящей работе приведены результаты исследований, проведенных нами с целью повышения плотности записи в оптических запоминающих устройствах, формирования наноразмерных рельефных структур на поверхности дисковых подложек.

Исследование и разработка систем сверхплотной оптической записи информации

Применение дифракционно-ограниченной оптики в системах оптической записи информации, в которых информация записывается и считывается сфокусированным линзой оптическим лучом, накладывает существенные ограничения на предельные значения плотности записи [1–3]. Для повышения разрешающей способности оптических систем были разработаны специальные методы формирования оптических лучей, диаметр которых меньше дифракционного предела. Наибольшее применение нашли: а) иммерсионные методы, основанные на распространении света в более плотной оптической среде, в которой свет имеет меньшую длину волны, и, как следствие, меньший

диаметр сфокусированного оптического луча [4–6]; б) ближнеполевые методы, использующие непрозрачный экран на субволновом расстоянии от объекта с субволновым диаметром отверстия в экране, при которых оптическое излучение, проходящее через отверстие, фокусируется также в пятно субволновых размеров [7–9].

Для повышения разрешающей способности фокусирующей системы оптического запоминающего устройства нами было предложено использовать жидкоиммерсионные системы записи информации. Такая система оказалась особенно эффективной при использовании оптического носителя цилиндрической формы [5, 10, 11]. Регистрирующая среда наносилась на внутреннюю поверхность оптически прозрачного цилиндра. При использовании для записи информации полупроводниковых лазеров инфракрасного диапазона (780 нм) осуществлялась запись элементов с размерами, которые позже достигались при записи лазерами с длиной волны 650 нм. Жидкоиммерсионные системы оптической записи информации в настоящее время находят применение при изготовлении оптических дисков-оригиналов. В станциях лазерной записи дисков-оригиналов наиболее часто используется водная иммерсия, которая легко удаляется после завершения процесса записи информации. Прогнозируется переход к «супериммерсии», которую обеспечат иммерсионные жидкости с показателем преломления $n = 1,75$ [12]. К недостаткам технологии иммерсионной записи следует отнести появление дополнительных ошибок, связанных с выходом из жидкости пузырьков растворенного в ней атмосферного газа.

Следует отметить, что системы иммерсионной записи (экспонирования) нашли широкое применение в промышленных системах иммерсионной проекционной фотолитографии, в которых при использовании излучения с $\lambda = 193$ нм и органической иммерсионной жидкости с показателем преломления $n = 1,64$ получены минимальные размеры элементов (30 нм) [12]. Использование такой иммерсионной жидкости и выходной линзы из кристаллического кварца с показателем преломления $n = 1,67$ позволяет увеличить значение числовой апертуры иммерсионной фокусирующей системы до 1,55, что обеспечивает разрешение 22 нм. Успешное применение иммерсионных систем в системах фотолитографии внесло существенные коррективы в технологию микроэлектронного производства, в частности, становится нецелесообразным дальнейшее развитие фотолитографии с $\lambda = 157$ нм.

С помощью ближнеполевых методов теоретически можно достичь почти неограниченного увеличения плотности записи информации. К большому сожалению, высокая разрешающая способность ближнеполевых систем сопровождается значительным уменьшением светопропускания. Коэффициент пропускания для малого отверстия в бесконечно тонком идеально проводящем экране уменьшается пропорционально $(d/\lambda)^4$, где d — диаметр наноапертуры. На практике в ближнеполевых фокусирующих системах при размере наноапертуры $d < \lambda/10$ коэффициент пропускания (коэффициент передачи по дальнему полю) оказывается чрезвычайно малым (10^{-5} – 10^{-6}). Характеристики типичного ближнеполевого зонда приведены в таблице.

Характеристики ближнеполевого зонда фирмы NT-MDT (www.ntmdt-tips.com/catalog/snom/)

Характеристики ближнеполевого зонда MF001	Показатели
Область рабочих длин волн, нм	400–550
Диаметр зонда, мкм	$3,5 \pm 0,5$
Оптическая эффективность, апертура 100 нм	6×10^{-4}
Оптическая эффективность, апертура 50 нм	6×10^{-5}

Малая оптическая эффективность ближнеполевых зондов является основным ограничивающим фактором их широкого применения. Ближнеполевые зонды нашли применение в устройствах магнитной записи как источники дополнительного нагрева магнитной регистрирующей среды с высокой коэрцитивной силой.

Ближнеполевые головки также могут найти применения в системах воспроизведения с оптических носителей емкостью 300–600 Гбайт типа ROM, запись информации на которые произведена электронным лучом [13, 14].

Одним из очевидных путей создания оптических носителей большой емкости является синтез многослойных носителей, но он связан с решением сложных технологических проблем. Первый шаг в этом направлении был сделан создателями DVD-носителей, в которых уже много лет успешно используются двухслойные структуры. Дальнейшее увеличение слоев в носителях, изготовленных по DVD-технологии (используются полупрозрачные отражающие слои из поглощающих материалов), приводит к существенным уменьшениям величины сигналов воспроизведения и усложняет выделение их из-за перекрестных помех от соседних информационных слоев.

Применение новых специально разработанных материалов для создания отражения от информационных слоев позволило разработать многослойные многофункциональные диски (VMD-носители) с четырьмя информационными слоями. По мнению разработчиков VMD-носителей, число слоев в них может достигать двадцати, а емкость 48 Гбайт [1, 15]. Сообщалось о разработке оптического диска емкостью 1 Тбайт, в котором данные записываются на 200 виртуальных слоях. Запись информации осуществляется с использованием двухфотонного поглощения в органическом хромофоре, который введен в подложку оптического диска [15].

Отдельным направлением создания многослойных оптических дисков является разработка носителей с фотолюминесцентным считыванием [17–19]. Главной проблемой при создании таких носителей является достижение высокой скорости считывания. Для решения этой проблемы предлагается синтезировать новые наноструктурированные фотолюминесцентные материалы с высоким квантовым выходом, увеличить физический объем питов, которыми кодируется информация, использовать многоканальное считывание записанной информации.

Нам представляется, что многослойные диски типа ROM могут быть созданы с использованием в качестве отражающих покрытий на информационных слоях прозрачных оксидов с высоким показателем преломления, в частности, оксидов титана.

Многослойные оптические диски с полупрозрачными отражающими регистрирующими слоями имеют ряд специфических свойств. Из-за сложности прохождения луча в многослойной среде трудно развить строгую теорию, которая бы позволила проводить анализ параметров диска исходя из параметров регистрирующего слоя. Сделав некоторые упрощения, нам удалось получить простую модель многослойного диска, которая позволяет оценить параметры многослойного диска, исходя из параметров регистрирующего слоя.

При прохождении луча вглубь регистрирующей среды из-за отражения, дифракции, поглощения и деформации волнового фронта в верхних регистрирующих слоях он теряет интенсивность, и его волновой фронт искажается. Это приводит к сильному ослаблению сигнала от нижних регистрирующих слоев носителя информации. Ситуацию ухудшает тот факт, что, отразившись, сигнал от нижнего слоя должен опять пройти через все верхние слои регистрирующего материала, при этом он дополнительно ослабляется и искажается. Поэтому коэффициент отражения от нижних слоев должен быть существенно больше, чем от верхних слоев. То есть, при создании многослойных носи-

телей информации необходимо иметь возможность наносить регистрирующие слои с коэффициентами отражений от намного меньших до близких к единице при минимальных искажениях волнового фронта (он должен оставаться дифракционно-ограниченным).

Большинство материалов, кроме металлов, имеют в оптическом диапазоне относительно небольшой коэффициент преломления и, вследствие этого, при их использовании достичь значительного коэффициента отражения можно только при создании регистрирующего слоя многослойной структуры, подобной структуре интерференционных фильтров. Поэтому намного более привлекательным решением для этой проблемы является в качестве регистрирующего материала применение оптической среды с большим коэффициентом преломления. Особенностью таких материалов являются большие потери на поглощение оптического излучения. Поэтому регистрирующий слой с большим коэффициентом преломления должен быть тонким [20].

Оптимальный многослойный носитель должен иметь такие оптические параметры регистрирующих слоев, чтобы уровни сигнала от каждого слоя были примерно одинаковыми. Так как отраженный луч должен дважды проходить через предыдущие регистрирующие слои, условие одинакового уровня сигнала от каждого регистрирующего слоя можно записать следующим образом:

$$|R_i| * |T_i|^2 = \text{const} , \quad (1)$$

где R_{0i} — коэффициент отражения i -го слоя, а T_{0i} — коэффициент пропускания плоской волны предыдущих слоев к i -му слою. Нужно сказать, что уравнение (1) не учитывает множественного переотражения от информационных слоев, но так как коэффициенты отражения каждого слоя малы, то переотражение не должно существенно повлиять на уровень фонового сигнала.

Если представить, что регистрирующих слоев много, и толщина их меняется от слоя к слою на малую величину, то заменив разницу в толщине дифференциалом, толщину i -го слоя с хорошей точностью можно записать как

$$s_i = S(i) - S(i-1) \approx \frac{dS(i)}{di} (i - (i-1)) = \frac{dS(i)}{di} , \quad (2)$$

где $S(i)$ — общая толщина среды регистрирующего материала предыдущих слоев до i -го слоя включительно.

Для регистрирующих слоев с большими потерями (металлические или GeSbTe-слои), когда диссипативные потери при распространении луча через регистрирующий слой значительно превышают отраженную от него энергию, уравнение (1) можно написать в следующем виде:

$$|R|^2 \frac{|n_2|^2}{|n_1|^2} k^2 \left(\frac{dS}{di} \right)^2 \exp(-2\beta S) = \text{const} = \gamma , \quad (3)$$

где γ определяет относительный уровень сигнала детектора; $\beta = k_0 \frac{n_2' n_2''}{n_1}$; k_0 — волновое число; n_1 — коэффициент преломления подложки диска; n_2', n_2'' — действительная и

мнимая части коэффициента преломления регистрирующего слоя. Нелинейное дифференциальное уравнение после простого преобразования можно записать как линейное:

$$\frac{dS}{dn} = \frac{\sqrt{\gamma}}{|R(N)| \left| \frac{n_2}{n_1} \right| k} \exp(\beta \bullet S). \quad (4)$$

Решив это уравнение, из условия положительности толщины слоев, можно определить максимально возможное, при данном относительном уровне сигнала γ , число слоев носителя информации N_0 :

$$N_0 < \frac{|R| \left| \frac{n_2}{n_1} \right| k}{\beta \sqrt{\gamma}}. \quad (5)$$

Последний слой должен отражать как можно больше энергии луча (всю энергию), и поэтому мы можем положить $|R(N)| = 1$, и тогда уравнение (5) для N_0 можно переписать следующим образом:

$$N_0 < \frac{|n_2| k}{2 |n_1| \beta \sqrt{\gamma}} = \frac{|n_2|}{2 n_2' n_2'' \sqrt{\gamma}}. \quad (6)$$

Отсюда следует, что максимально допустимое количество регистрирующих слоев пропорционально модулю показателя преломления и обратно пропорционально произведению действительной и мнимой части (потерь) коэффициента преломления регистрирующего слоя и корню квадратному от уровня сигнала считывания. Из формулы (6) видно, что, снизив допустимый уровень сигнала в 100 раз, мы сможем только в 10 раз увеличить количество слоев у многослойного носителя информации. Вместе с тем, уменьшив в 10 раз потери, мы во столько же раз можем увеличить количество регистрирующих слоев. Таким образом, трудно получить большой эффект в увеличении емкости многослойного носителя методом снижения уровня сигнала. Поэтому для получения носителя с большим количеством слоев он должен иметь регистрирующие слои с большим коэффициентом преломления (действительную часть), а диссипативные потери в регистрационном слое должны быть как можно меньше.

Полученные формулы верны для случая использования в качестве регистрирующего слоя материалов с большими диссипативными потерями — металлических и GeSbTe-пленок. Для регистрирующих слоев из материала без потерь с большим показателем преломления (например, оксида титана TiO_2) формула (6) не верна. Но оказывается, что и в этом случае можно применить аналогичный подход. В результате применения этого метода для регистрирующих сред без диссипативных потерь мы получили следующую формулу для максимального количества регистрационных слоев:

$$N_0 = < 0,5 \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right). \quad (7)$$

Из приведенной выше формулы видно, что максимальное количество регистрирующих слоев в этом случае будет примерно в 2 раза меньше чем в идеальном варианте, когда мощность луча равномерно распределена по всем регистрирующим слоям без потерь на отражение от предыдущих:

$$N_0 = \frac{1}{\gamma}. \quad (8)$$

Многослойный метод записи информации имеет ряд особенностей, которые выдвигают определенные требования к конструкции устройства для считывания и записи информации и к расположению слоев друг относительно друга. Первой особенностью является то, что каждый слой находится на разной глубине от поверхности носителя. Известно, что волновой фронт луча, проходящий через плоскопараллельный слой толщиной h , получает сферическую абберацию пропорциональную NA^4h . При многослойной записи плоскость фокусировки должна перемещаться до 1 мм вглубь носителя информации, и при этом соответственно будет меняться величина сферической абберации. Проблема компенсации сферической абберации решается с помощью жидкокристаллической пластинки с кольцевыми фазовыми корректорами [1].

Как уже упоминалось выше, многослойный диск должен иметь структуру, которая обеспечивает во входном зрачке объектива одинаковую энергию отраженного света от каждого слоя. Следовательно, во входном зрачке полезный сигнал имеет фоновый сигнал в $N_0 - 1$ раз больше полезного сигнала. Ситуацию ухудшает когерентность фонового и полезного сигналов, в результате чего изменение фазы этих двух лучей может существенно изменить сигнал детектора в результате эффекта интерференции. На рис. 1 показана оптическая схема считывания сигнала с многослойного носителя информации. Нетрудно видеть, что только $I_0 * S_d * S_0 / S_i$ часть энергии будет воспринята детектором, где S_i — площадь луча в плоскости изображения, отраженного от i -го слоя луча, S_0 — площадь пятна сфокусированного луча, отраженного от слоя, с которого информация считывается, S_d — площадь фотодетектора. Тогда уровень фонового сигнала может быть оценен по формуле:

$$\eta_{fon} = \frac{2 \sum_{i=1}^{(N_0-1)/2} \frac{I_0 S_d S_0}{S_i}}{I_0 S_0}. \quad (9)$$

Вследствие того, что

$$S_0 / S_i \approx \left(\frac{\lambda}{NA} \right)^2 / (hNA)^2 = \left(\frac{\lambda}{h} \right)^2 \frac{1}{(iNA)^4} \quad (10)$$

формулу (9) можно переписать как

$$\eta_{fon} \approx \frac{2 S_d \sum_{i=1}^{(N_0-1)/2} \left(\frac{\lambda}{h} \right)^2 \frac{1}{(iNA)^4}}{S_0}. \quad (11)$$

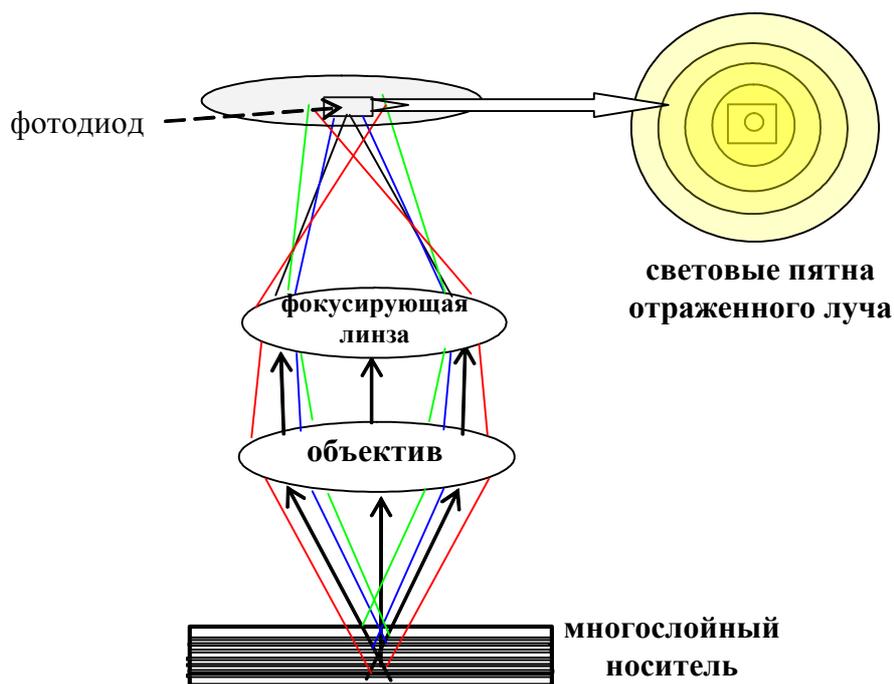
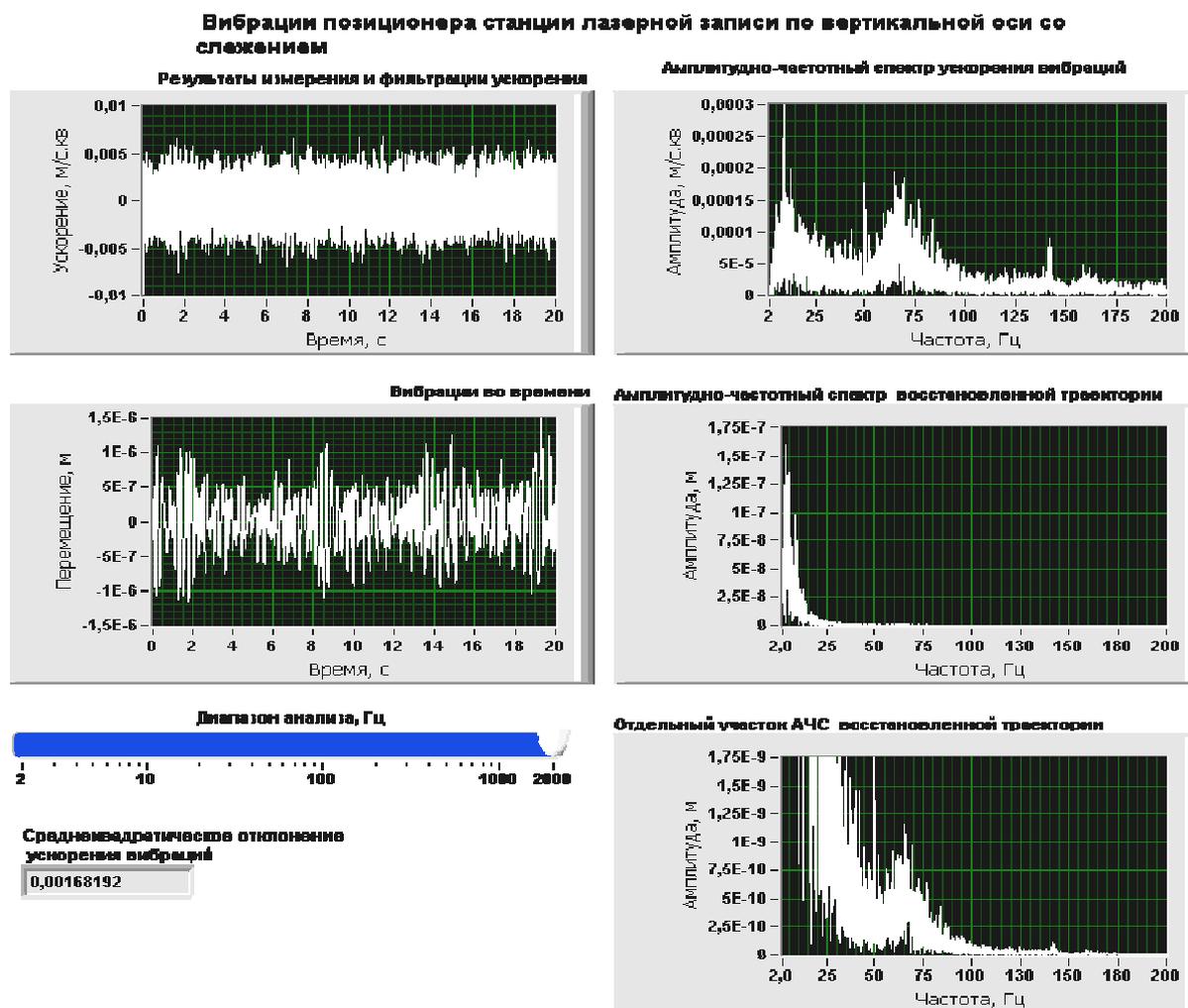


Рис. 1. Оптическая схема, показывающая распределение интенсивностей в плоскости детектора лучей, отраженных от разных регистрирующих слоев

Из формулы (11) видно, что, выбрав фотодиод достаточно малых размеров и достаточно большое расстояние между регистрирующими слоями h , фоновое излучение можно в значительной мере отделить от сигнала. Причем, с увеличением числовой апертуры расстояние между слоями, необходимое для достижения требуемого уровня фонового сигнала, уменьшается как $h_{\min} = \frac{1}{NA^2}$. Следовательно, оптические системы с большой числовой апертурой дают возможность не только увеличить плотность записи информации в одном слое, но также и более плотно расположить информационные слои друг к другу. Нужно также отметить, что высокая степень подавления фонового излучения возможна только в оптической системе высокого качества, в которой фоновое излучение посредством его переотражения и рассеивания не достигает фотодиода.

Разработка устройств наноправления лучом лазера

Решение задачи сверхплотной записи информации предполагает создание устройств прецизионного управления, которые функционируют в условиях естественных вибраций Земной поверхности и обеспечивают вращение подложки по определенному закону, радиальное и осевое позиционирование луча лазера. За последние годы с использованием методов оптимального управления и цифровой фильтрации в институте создан ряд программно-аппаратных комплексов, предназначенных для измерения вибраций, профилей рельефа подложек и управления наноперемещениями. На рис. 2 приведен пример результата измерения вибраций позиционера станции лазерной записи оптической информации по вертикальной оси, который используется для оценки качества аэростатической подвески и величины возмущающих воздействий, прикладываемых к системе автофокусировки.



Измерение профиля рельефа подложки важно для определения требований к точности ее изготовления и требований к динамической точности системы автофокусировки. Это особенно важно для создания носителей длительного хранения информации на основе подложек из сапфира, которые для такого применения в мире пока не производятся. На рис. 3 приведен пример результатов такого исследования.

Отдельной и намного более сложной задачей является задача управления наноперемещениями больших масс в условиях упругих деформаций элементов конструкции, которая существует при радиальном позиционировании луча лазера. При этом необходимо измерение линейных перемещений с точностью до десятых долей нанометра и динамическая точность управления массой позиционера в десятки килограмм до единиц нанометров. Для решения этой задачи был разработан лазерный цифровой интерференционный дальномер с абсолютным отсчетом координаты и разрешением не хуже 0,6 нм, при этом интерполяция и устранение неоднозначностей выполняются на программном уровне вместе с решением задачи управления позиционером. На рис. 4 показаны ошибки позиционирования на реальной траектории записи диска-оригинала, а на рис. 5 — их амплитудно-частотный спектр.

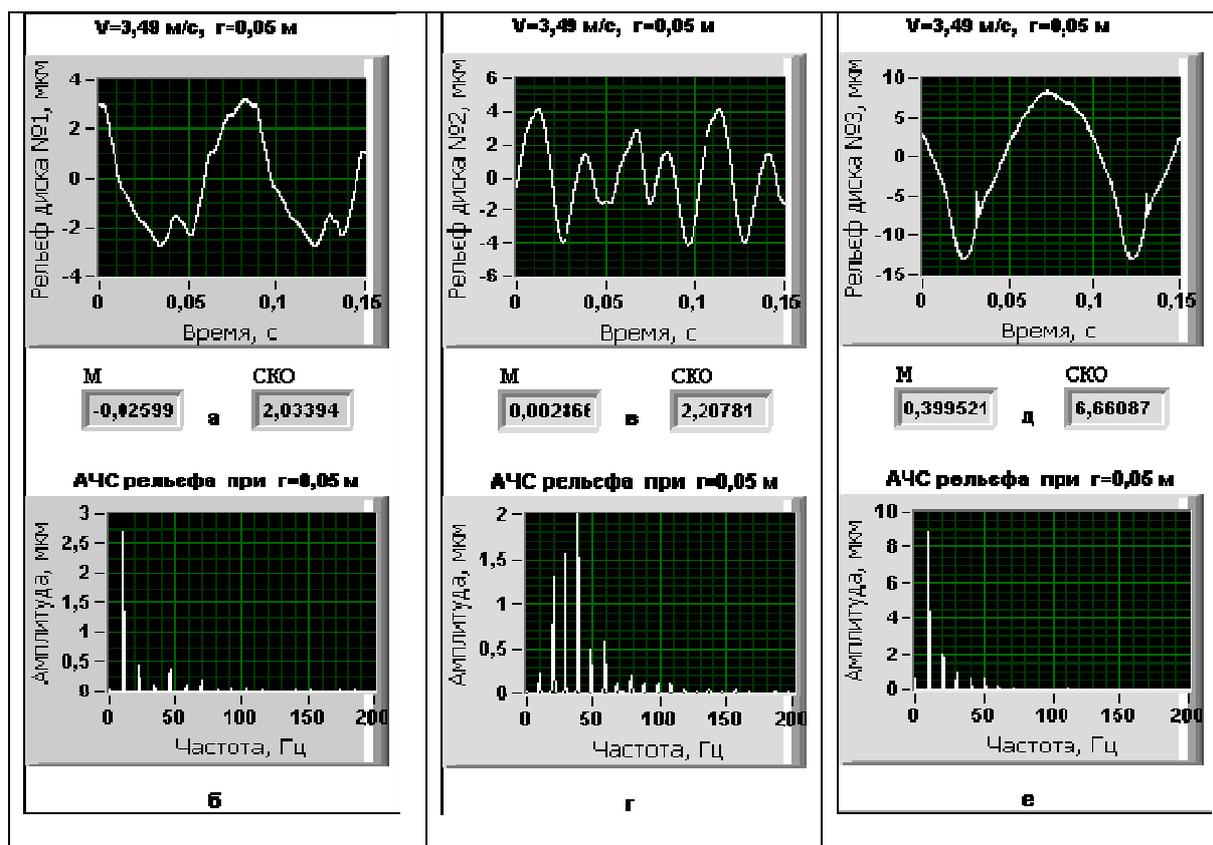


Рис. 3. Исследование профиля рельефа подложки: диски № 1, № 2 — из стекла, № 3 — из сапфира; а), в), д) — развертка профиля рельефа; б), г), е) — соответствующие амплитудно-частотные спектры

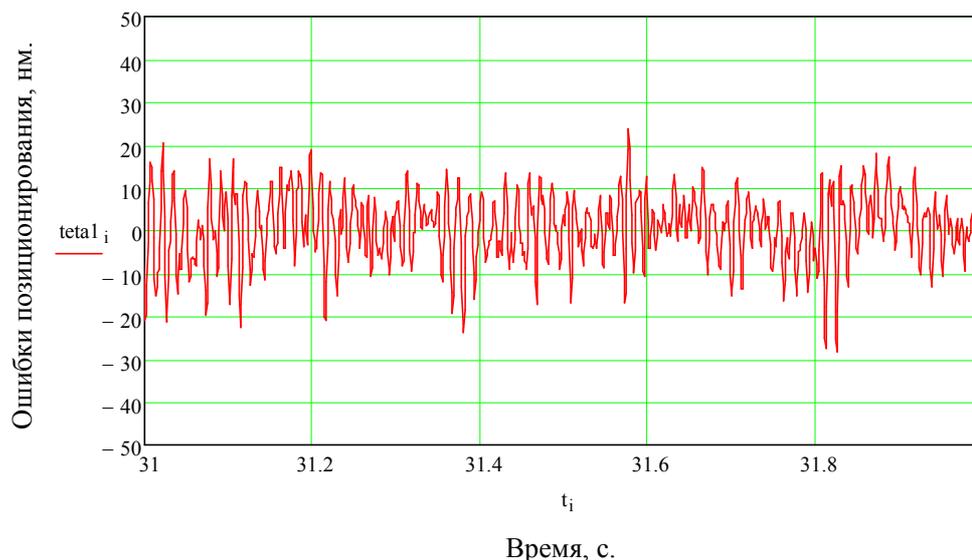


Рис. 4. Ошибки позиционирования на реальной траектории записи диска-оригинала

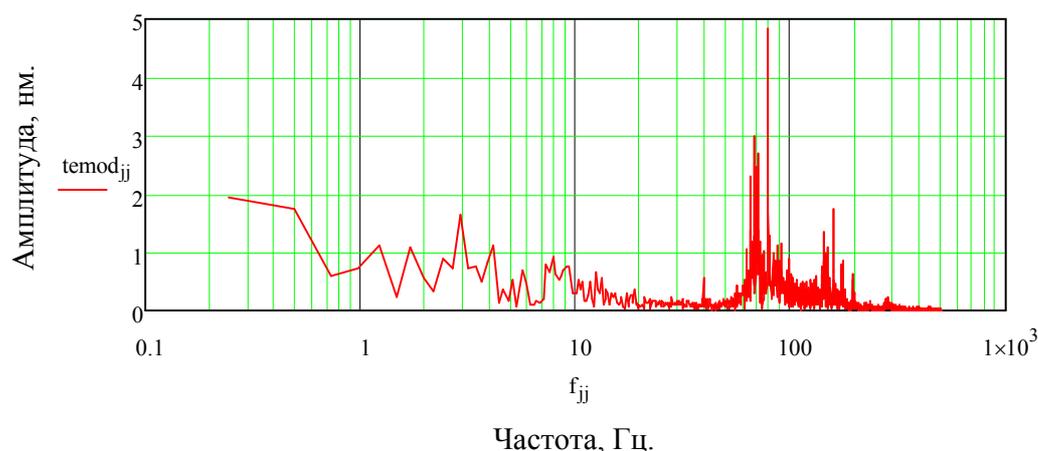


Рис. 5. Амплитудно-частотный спектр ошибок позиционирования

Полученные точности измерений не являются пределом и пока ограничиваются стабильностью параметров элементов и среды измерений, а точность управления может быть улучшена в пределах порядка посредством применения перспективных исполнительных устройств, которые находятся на этапе исследования.

Синтез материалов для носителей информации оптических запоминающих устройств

Тонкие стекла халькогенидных стеклообразных полупроводников на протяжении многих лет были и остаются одним из основных материалов регистрирующих сред носителей информации в системах оптической записи информации. Для создания первых образцов оптических дисков WORM широко использовались процессы фототермической записи на тонких пленках халькогенидных полупроводников с высоким содержанием теллура. В дисковых носителях нами использовались пленки эвтектического сплава $\text{Te}_{14}\text{Se}_{61}\text{Ge}_{15}\text{Sb}_{10}$ толщиной 35 нм [1]. Запись информации производилась импульсами длительностью 80–20 нс. Под действием сфокусированного излучения длиной волны 530 нм происходило удаление материала поглощающей пленки из зоны облучения. Информационные питы записывались по обе стороны дорожек слежения. Проведенные через 25 лет исследования записанных дисков показали, что форма и размеры питов практически не изменились, незначительно увеличилось содержание кислорода в приповерхностном слое (общее количество кислорода в материале регистрирующего слоя не превышает 6 %). Исследуемые образцы сохранили зеркальный блеск и высокое отражение (> 35 %). Тонкие пленки халькогенидных стеклообразных полупроводников могут рассматриваться как перспективный материал для оптических носителей длительного хранения информации.

Как показали проведенные исследования, позитивные неорганические фоторезисты позволяют получать рельефные изображения с минимальными размерами 0,15–0,20 мкм при записи излучением с длиной волны 405 нм, что позволяет изготавливать с них матрицы для тиражирования дисков DVD. Пленки позитивного неорганического фоторезиста обладают достаточно широким динамическим диапазоном. Более перспективным является использование негативных неорганических фоторезистов, которые позволяют получать рельефные изображения на никелевых подложках, то есть

реализуется технология прямого мастеринга.

Нами предложена и экспериментально подтверждена идея использования высокотемпературных халькогенидных стекол для изготовления рельефных микроизображений на никелевых подложках, то есть получения никелевых штампов без процесса гальванопластики. Проведенные эксперименты показали высокую механическую и термическую прочность рельефных изображений из высокотемпературного халькогенидного стекла. В процессе штамповки расплавленного поликарбоната не наблюдалось изменений геометрических размеров выступов на поверхности никелевой подложки.

Совершенствование технологии получения тонких пленок многокомпонентных халькогенидных полупроводников, разработка селективных травителей для высокотемпературных халькогенидных полупроводников, синтез многокомпонентных халькогенидных стеклообразных полупроводников позволят расширить применение этих материалов в носителях оптической записи, в первую очередь, реверсивных, а также в технологическом процессе изготовления штампов для тиражирования компакт-дисков новых поколений.

Выводы

1. При создании оптических и магнитных носителей с максимальными достигнутыми к настоящему времени значениями плотности записи информации используется целый ряд общих технологий формирования наноразмерных рельефных структур.

2. Одним из наиболее перспективных направлений создания оптических и магнитных носителей большой емкости является создание многослойных носителей.

3. Создание высокоразрешающих дисков-оригиналов для систем оптической и магнитной записи предполагает разработку специальных фоторезистов, в качестве которых могут использоваться неорганические фоторезисты на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников.

Благодарности

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам Института проблем регистрации информации НАН Украины за активное участие в разработке систем оптической записи, помощь в изготовлении образцов носителей информации, осуществлении записи информации и их последующей обработке, а также за плодотворное обсуждение результатов исследований.

1. *Надцильний оптичний запис інформації* / [Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М. та ін.]: відпов. ред. О.Г. Додонов. — Ін-т проблем реєстрації інформації НАН України. — К., 2009. — 282 с. — ISBN 966-00-0400-1.

2. *Борн М.* Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. — [2-е испр. изд.]. — М.: Наука, 1973.

3. *Daniel Courjon.* Near-Field Microscope and Near-Field Optics / Daniel Courjon. — Imperial College Press, 2003. — 317 p.

4. *Neijzen H.M.* Liquid Immersion Deep-UV Optical Disc Mastering for High Data Capacity ROM Discs / H.M. Neijzen, E.R. Meiders, M.I. Boamfa, D. Chen // Proc of SPIE. — 2005. — Vol. 5966. — P. 59661v-1–59661v-6.

5. *Petrov V.V.* Optical Immersion Recording of Computer Data / V.V. Petrov, S.M. Shanoylo // Experimentally Technik der Physic. — 1990. — Vol. 38, N 5/6. — P. 487–490.

6. *A Case Study for Optics: the Solid Immersion Microscope* / A.N. Vamivakas, R.D. Younger, B.B. Goldberg [et al.] // Am. J. Phys. — August 2008. — Vol. 76, N 8. — P. 758–768.

7. *Bethe H.A.* Theory of Diffraction by Small Holes / H.A. Bethe // *Phys. Rev.* — 1944. — Vol. 66, N 163.
8. *Bouwkamp C.J.* On the Diffraction of Electromagnetic Waves by Small Circular Disks and Holes / C.J. Bouwkamp // *Philips Res. Rep.* — 1950. — Vol. 5, N 401.
9. *Ferry ZIJP.* Near-Field Optical Data Storage. — Dr. Degree dissertation. — Technische Universiteit Delft (Holland). — 2007. — 251 p.
10. *Chien – Yang Chen.* Optical Disk Groove Mastering Using an Electron Beam Recorder and Chemically Amplified Resist / Chien – Yang Chen, Hung – Yin Tsai, Hung – Yi Lin // *IEEE Trans. Magn.* — 2005. — Vol. 41, N 2. — P. 1025–1027.
11. *Takeda M.* Progress in Electron Beam Mastering of 100 Gbit/inch² Density Disc / M. Takeda, M. Furuki, M. Yamamoto [et al.] // *Jap. J. Appl. Phys.* — 2004. — Vol. 43, N 7B. — P. 5044–5046.
12. *Бельский А.Б.* Перспективы развития оптических систем для нанолитографии / А.Б. Бельский, М.А. Ган, И.А. Миронов, Р.Н. Сейсян / *Оптический журнал.* — 2009. — Т. 76, № 2. — С. 59–56.
13. *Electron Beam Recorder with Nanometer-Scale Accuracy for 100 Gbit/in² Density Mastering* / H. Kitahara, Y. Ozawy, A. Masafumi [et al.] // *Jap. J. Appl. Phys.* — 2004. — Vol. 43, N 7B. — P. 5068–5073.
14. *Chien – Yang Chen.* Optical Disk Groove Mastering Using an Electron Beam Recorder and Chemically Amplified Resist / Chien – Yang Chen, Hung – Yin Tsai, Hung – Yi Lin // *IEEE Trans. Magn.* — 2005. — Vol. 41, N 2. — P. 1025–1027.
15. *Quard-Layer DVD Technology Becomes the Third HD Format* [Электронный ресурс]. — Video News. — Technology News. Tuesday, 13.03.2007. — Режим доступа: <http://www.videomag.gr/cms/index.php?option=com-ontent&task=view&id=1000>.
16. *Two-Photon Volumetric Optical Disk Storage Systems: Experimental Results and Potentials* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.opticsinfobase.org/abstract.cfm?URI=OC-2003-OFB2>
17. *Беляк Е.В.* Люминесцентное считывание – путь появления емкости носителей информации / Е.В. Беляк, А.А. Крючин, А.И. Стецун // *Рестрація, зберігання і оброб. даних.* — 2003. — Т. 5, № 1. — С. 3–11.
18. *Kravets V.G.* Luminescence of the Pyrazoline dye in Nanostructured Zeolite Matrix / V.G. Kravets, A.A. Kryuchyn, Ie.V. Belyak // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics.* — 2007. — Vol. 10, N.1. — P. 33–35.
19. *Беляк С.В.* Методи багаточарового фотолюмінесцентного запису інформації / С.В. Беляк, В.Г. Кравець, А.А. Крючин // *Рестрація, зберігання і оброб. даних.* — 2008. — Т. 9, № 4. — С. 3–18.
20. *Shylo S.A.* Optical Parameters of Light Beam in Multilayer Nano-Structures / S.A. Shylo, A.S. Lapchuk, J.S. Song, K.S. Kim // *Journal of Korean Physical Society.* — 2005. — Vol. 47, August. — P. 18–23.

Поступила в редакцию 11.05.2010