

PACS numbers: 42.40.Ht, 42.79.Vb, 61.72.Ff, 81.15.Jj, 81.16.Mk, 81.65.Cf, 85.40.Hr

Оптические диски для долговременного хранения информации

В. В. Петров, В. М. Пузиков*, А. А. Крючин, И. В. Горбов

*Институт проблем регистрации информации НАН Украины,
ул. Шпака, 2,*

03113 Киев, Украина

**Институт монокристаллов НАН Украины,*

просп. Ленина, 60,

61001 Харьков, Украина

Рассмотрены технологии изготовления оптических дисковых носителей, предназначенных для долговременного хранения информации. Показано, что использование сапфировых подложек позволяет создать носители, на которых прогнозируемый срок хранения данных составляет тысячи лет. Рассмотрены способы формирования наноструктурного рельефа на поверхности высокостабильных материалов. Представлены экспериментальные результаты исследования процесса записи информации на оптические диски с сапфировыми подложками.

Розглянуто технології виготовлення оптичних дискових носіїв, які призначені для довготермінового зберігання інформації. Показано, що використання сапфірових підкладок дозволяє створити носії, на яких прогнозований термін зберігання даних становить тисячі років. Розглянуто способи формування наноструктурного рельєфу на поверхні високостабільних матеріалів. Представлено експериментальні результати досліджень процесу запису інформації на оптичні диски з сапфіровими підкладками.

Manufacture techniques of optical disc media for long-term data storage are considered. As demonstrated, the use of sapphire substrates allows creating media with the predicted data-storage term of thousands of years. Techniques for nanostructured relief forming on high-stable material surface are studied. Experimental results for process of data recording on optical disks with sapphire substrates are presented.

Ключевые слова: долговременное хранение информации, оптические диски, сапфир, ионно-лучевое травление, микрорельеф.

(Получено 10 апреля 2009 г.)

1. ВВЕДЕНИЕ

Оптические системы записи информации обладают большими потенциальными возможностями по обеспечению надежного и длительного хранения информации. Однако для обеспечения возможности массового распространения информации на оптических носителях основное внимание было уделено созданию технологии изготовления дешевых носителей методом инжекционного литья поликарбоната. Полимерные подложки с рельефной микроструктурой используются во всех типах компакт-дисков. Система распространения информации на компакт-дисках позволяет рассматривать ее и как систему компьютерного книгопечатания [1, 2]. При создании технологии хранения и распространения информации на компакт-дисках не ставилась задача создания на их основе систем долговременного хранения информации. Проведенные многочисленные исследования позволили установить причины достаточно быстрого выхода из строя компакт-дисков, а именно:

- механические повреждения поверхностей компакт-дисков;
- отслоение отражающего металлического слоя от подложки с микрорельефной структурой;
- деформация поверхности компакт-дисков при многократных считываниях;
- повреждения поликарбонатной подложки микроорганизмами.

В связи с прогнозируемым широким использованием ВD-компакт-дисков существенное внимание уделяется повышению их срока службы. В первую очередь, рассматривается возможность применения защитных слоев, предотвращающих механические повреждения носителя информации [3].

Цель настоящей работы — получение наноразмерного информационного рельефа на поверхности высокостабильных материалов и разработка на их основе оптических носителей, у которых прогнозируемый срок хранения данных превышает тысячу лет.

2. АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ДИСКОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Для решения проблемы длительного хранения данных предлагается использовать специальные оптические диски, которые получили название профессиональных (табл. 1).

Основные отличия профессиональных оптических дисков от потребительских компакт-дисков состоят в том, что для защиты от механических повреждений и загрязнений используются специальные герметичные контейнеры, для уменьшения времени произ-

ТАБЛИЦА 1. Характеристики профессиональных оптических носителей для долговременного хранения информации.

Характеристики Тип носителя	PEP (профессиональный диск)	UDO 1	UDO 2
Емкость, Гбайт	23	30	60
Диаметр, мм	120	130	130
Длина волны лазера считывания, нм	405	405	405
Скорость (1×) считывания, Мбит/с	88	80	80
Скорость (1×) записи, Мбит/с	72	80	80
Числовая апертура фокусирующего объектива	0,85	0,85	0,85

вольного доступа к информации она записывается на концентрических дорожках (в отличие от компакт-дисков, в которых используется спиральная дорожка). В профессиональных оптических дисках используется режим работы WORM. В качестве материала подложки применяются специальные типы силикатного стекла. Наибольший срок хранения данных при использовании режима записи WORM обеспечивают регистрирующие материалы с необратимыми фазовыми переходами [4].

Предельные сроки хранения данных для носителей, информация на которых записана в виде микрорельефной структуры, определяются временем изменения формы углублений (питов) на их поверхности. Очевидно, что превышения температуры над значением температуры плавления материала подложки приведут к потере записанной информации. Максимальный срок хранения информации на оптических носителях может быть оценен из уравнения Эйринга [5]. Тогда соотношение предельных сроков хранения данных t_1 и t_2 на носителях с разными значениями температуры плавления материала подложки $T_{пл1}$ и $T_{пл2}$ можно выразить следующим образом [6]:

$$\frac{t_1}{t_2} = e^{\frac{T_{пл1} - T_{пл2}}{T}}.$$

По различным оценкам, основанным на ускоренном искусственном старении носителей, максимальный прогнозируемый срок службы стандартных поликарбонатных компакт-дисков составляет от 20 до 50 лет и зависит от условий хранения (табл. 2). Поэтому в случае использования оптических дисков для долговременного хранения информации они должны содержаться в определенных

ТАБЛИЦА 2. Срок хранения данных на носителях с разными материалами подложки.

Материал подложки	Температура плавления, К	Срок хранения данных относительно компакт-дисков из поликарбоната	Срок хранения, лет
Поликарбонат	523	1	~ 20
Натриевое стекло	923	$e^{1,36} = 3,91$	~ 80
Ситалл	1696	$e^{4,00} = 54,78$	~ 1100
Кварцевое стекло	1986	$e^{4,99} = 146,94$	~ 2900
Сапфир	2318	$e^{6,13} = 457,73$	~ 9000

климатических условиях (температура — 20°C, относительная влажность — 40%) [7]. Это требует серьезных материальных затрат как на создание таких хранилищ, так и на поддержание их работы.

Использование сапфира позволяет создать оптические носители со сроком хранения более 9000 лет. Уникальные физические свойства сапфира, его механическая и химическая стойкость, позволяют хранить их в любых условиях, не беспокоясь за возможные повреждения носителя в случае пожара, наводнения или химического загрязнения территории хранилища. Однако благодаря этим же достоинствам достаточно сложно записать информацию на поверхность сапфирового диска. Дополнительное преимущество использования монокристаллических подложек состоит в том, что по сравнению с подложками из многокомпонентных материалов, таких как силикатные (боросиликатные) стекла, они обеспечивают возможность получения микрорельефных структур с большей разрешающей способностью.

3. ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ НА ОПТИЧЕСКИЕ ДИСКИ С САПФИРОВЫМИ ПОДЛОЖКАМИ

Процесс записи информации на оптические носители для долговременного хранения данных состоит из ряда технологических операций, которые используются при производстве дисков-оригиналов фоторезистивным методом. На сапфировую подложку методом центрифугирования наносится слой позитивного фоторезиста, на который на станции лазерной записи сфокусированным лучом записывается информация (рис. 1).

После селективного химического травления в слое фоторезиста образуются окна, сквозь которые осуществляется травление сапфира. В процессе изготовления оптических носителей для долговременного хранения данных, в отличие от процесса изготовления дисков-

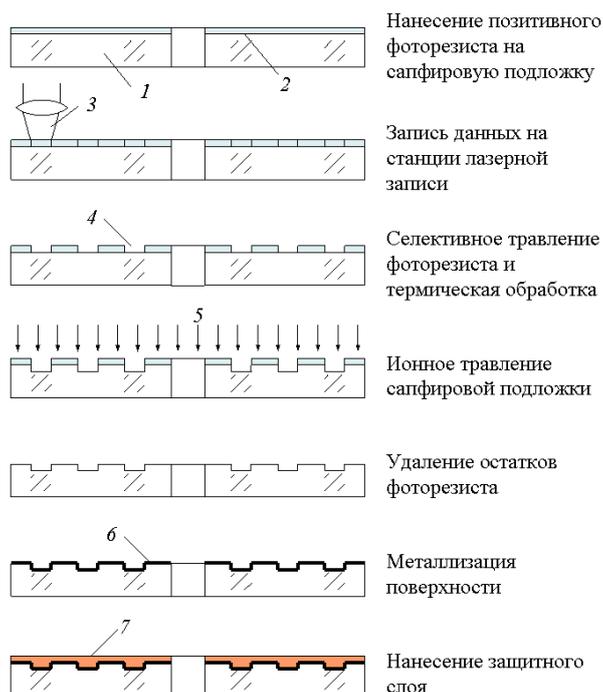


Рис. 1. Схема процесса изготовления оптического носителя для долговременного хранения данных [8, 9]: 1 — подложка; 2 — слой позитивного фоторезиста; 3 — сфокусированный лазерный луч; 4 — окно в слое фоторезиста; 5 — ионный пучок; 6 — металлический отражающий слой; 7 — слой защитного лака.

оригиналов, необходимо использовать слои фоторезиста большой толщины. Толщина слоя фоторезиста определяется из соотношения скоростей травления сапфира и фоторезиста. Для получения питов глубиной (100–120) нм на поверхности сапфировой подложки толщина слоя фоторезиста Shipley 1813 (который чаще всего используется в процессе изготовления компакт-дисков) составляет около 200 нм. Отметим, что из-за того, что показатель преломления сапфира составляет 1,77 (в отличие от 1,58 у поликарбоната), для сохранения размера сфокусированного пятна на поверхности информационного слоя и соответствия стандарту CD толщина сапфирового диска должна быть 1 мм (толщина поликарбонатного компакт-диска — 1,2 мм).

Так как сапфир характеризуется высокой стойкостью к химически активным веществам, получить рельеф на его поверхности химическим способом невозможно. К тому же, химический способ травления не позволяет получать структуры с разрешением менее 1 мкм, что недостаточно для записи информации на оптические носители [8]. Для сравнения, ширина пита в формате CD составляет 500

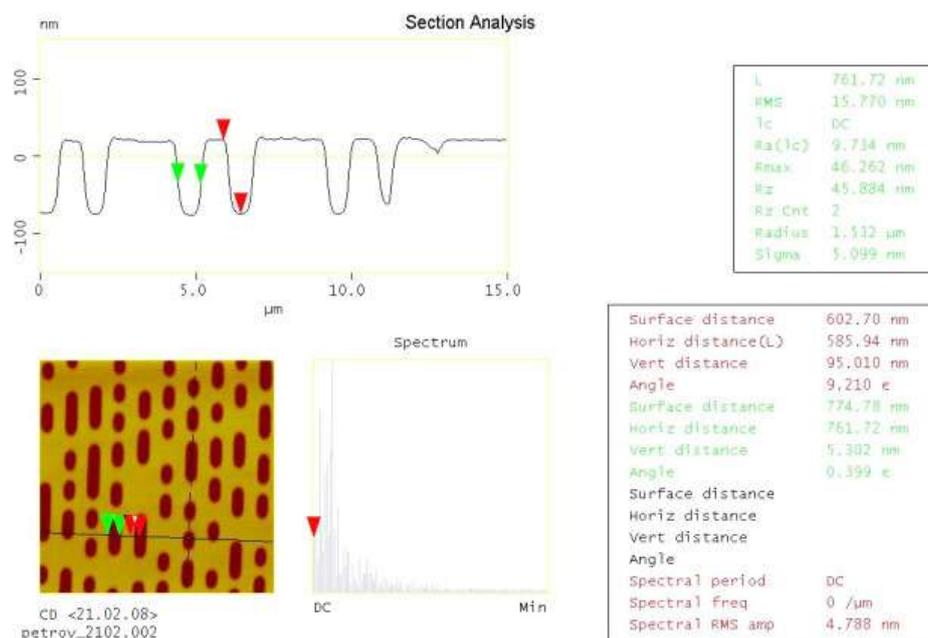


Рис. 2. Информационный рельеф на поверхности сапфирового оптического диска.

нм, DVD — 320 нм, а BD — 220 нм.

Получить необходимый микрорельеф на поверхности сапфирового диска можно путем травления с использованием низкотемпературной газоразрядной плазмы, а именно с помощью ионно-лучевого травления, которое позволяет получать структуры шириной до 50 нм.

Для экспериментальных исследований процесса формирования рельефа на поверхности сапфировых дисков была выбрана вакуумная установка ВУ-1А. Вакуумная камера выбранной установки позволяет эффективно расположить источник ионов и обрабатываемую подложку, а система откачки позволяет получить необходимый вакуум. Для формирования ионного пучка использовался источник ионов ИОН-2, наличие холодного катода в котором позволяет получать ионы различных смесей активных и реактивных газов.

Анализ различных газовых смесей показал, что для травления сапфировой подложки в качестве рабочего газа целесообразно использовать газ CF_4 с различной парциальной составляющей аргона. Максимальная плотность ионного тока в устойчивом режиме работы источника составляла 10 mA/cm^2 , что соответствовало скорости травления 5 нм/мин. Таким образом на поверхности сапфирового диска был получен информационный рельеф, максимальная глуби-

на которого составляла 95 нм, а структура полностью соответствовала формату представления данных на стандартном компакт-диске (рис. 2).

В результате проведенных исследований на поверхность сапфирового диска была записана информация с плотностью 65,1 МБ/см² в формате CD, а также была показана возможность записи данных с большей плотностью в форматах DVD и BD. В качестве отражающего слоя использовались не только пленки алюминия, которые традиционно применяются при производстве оптических дисков, но и пленки никеля, характеризующиеся высокой механической и химической стойкостью.

4. ВЫВОДЫ

1. Для изготовления профессиональных оптических дисков, предназначенных для длительного хранения информации, целесообразно использовать подложки, изготовленные из высокостабильных материалов. При изготовлении оптических носителей, запись данных на которые производится в формате BD носителей, могут применяться подложки из кремния и сапфира.
2. Запись информации в виде микрорельефных структур на носители с подложками из высокостабильных материалов может производиться на станции лазерной записи дисков-оригиналов с последующим плазмохимическим травлением подложки.
3. Повышению надежности хранения информации на оптических носителях, подложки которых выполнены из высокостабильных неорганических материалов, способствует применение отражающих покрытий из высокотемпературных оксидных материалов.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло, Л. И. Крючина, И. О. Косско, *Металеві носії для довготермінового зберігання інформації* (Киев: Наукова думка: 2005).
2. D. Sorid and V. H. Schechtman, *Optics and Photonics News*, **18**, No. 5: 34 (2007).
3. *Создан первый Blu-ray-диск с гарантией 200 лет*. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ncm.ru/news/news_014_080710.shtml
4. В. В. Петров, А. А. Крючин, В. Г. Кравець, *Доповіді НАН України*, № 4: 52 (2003).
5. Y. Okino, M. Irie, T. Kubo, and M. Okuda, *Proc. of SPIE*, **5966**: 5966 1Z-1 (2005).
6. І. В. Горбов, В. О. Беляковський, *Реєстрація, зберігання і обробка даних*, **9**, № 3: 73 (2007).
7. И. В. Горбов, *Вісник Донецького університету. Серія А. Природничі науки*,

№ 2: 419 (2005).

8. В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло, В. О. Беляковський, І. В. Горбов, *Спосіб виготовлення оптичного носія для довготермінового зберігання даних* (Пат. 81519 Україна, МПК G 11 В 7/26.; заявник та власник — Ін-т проблем реєстрації інформації НАН України. — № а200601504. Заявл. 14.02.2006. Опубл. 10.01.2008. Бюл. № 1).
9. В. В. Петров, В. П. Семиноженко, В. М. Пузиков, О. Я. Данько, А. А. Крючин, С. М. Шанойло, Л. В. Бутенко, І. О. Косско, *Носій для довготермінового зберігання інформації* (Пат. 73611 Україна. — Опубл. 15.08.2005. Бюл. № 8).
10. Б. С. Данилин, В. Ю. Киреев, *Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов* (Москва: Энергоатомиздат: 1987).