



УДК 004.085

В.В. Петров, академик НАН Украины,
А.А. Крючин, чл.-кор. НАН Украины,
С.М. Шанойло, канд. техн. наук
Ин-т проблем регистрации информации НАН Украины
(Украина, 03113, Киев, ул. Шпака, 2,
тел. (044) 4568389, e-mail: petrov@ipri.kiev.ua)

Оптические носители долговременного хранения информации

Проанализированы методы создания оптических носителей долговременного хранения информации. Показано, что задачу долговременного хранения стратегически важной информации можно решить при использовании сапфировых дисков с микрорельефным изображением данных. Приведены данные о способах записи субмикронных структур на поверхности сапфировых подложек и воспроизведении записанных данных сфокусированным лазерным излучением.

Проаналізовано методи створення оптичних носіїв довготривалого зберігання інформації. Показано, що задачу довготривалого зберігання стратегічно важливої інформації можна вирішити при використанні сапфірових дисків з микрорельефним зображенням даних. Наведено дані про способи запису субмікронних структур на поверхні сапфірових підкладок і відтворення записаних даних сфокусованим лазерним випромінюванням.

Ключевые слова: оптические носители, долговременное хранение информации, сапфировые диски.

Необходимость создания и использования оптических запоминающих устройств обусловлена двумя основными особенностями метода оптической записи: высокой плотностью записи и надежностью хранения информации. С помощью оптических дисков емкостью (1—50) Гбайт созданы архивы хранения электронных документов, организованы массовое распространение мультимедийной информации и компьютерное книгопечатание. Существенные достижения в технологии магнитной записи и твердотельной памяти позволили создать системы памяти, обеспечивающие хранение гигантских массивов данных. Развитие методов записи информации позволило создать ближнеполевые методы регистрации данных на жестких магнитных дисках, имеющих плотности записи, недостижимые в традиционных оптических запоминающих устройствах с дифракционно

© В.В. Петров, А.А. Крючин, С.М. Шанойло, 2016

ограниченными системами фокусировки излучения. Это обеспечило существенное уменьшение роли компакт-дисков. Однако проблема длительного хранения данных до сих пор не решена и создание носителей долговременного хранения данных связывают с оптическими носителями информации, которые имеют значительные потенциальные возможности для организации долговременного хранения информации и наиболее полно удовлетворяют требованиям, предъявляемым к носителям информации долговременного хранения данных [1, 2].

Оптические носители имеют ряд особенностей, которые позволяют использовать их для долговременного хранения информации, а именно:

бесконтактное считывание информации, обеспечивающее доступ к содержанию документа без нарушения оригинала и возможность долговременного хранения информации;

возможность применения физических методов защиты записанной информации от механических повреждений;

реализация обратной совместимости на новых типах устройств воспроизведения информации;

наличие режима однократной записи и многократного считывания, при котором сделанная запись не может быть стерта или заменена новой (информация в архивных документах не подлежит какой-либо корректировке);

надежное рельефное представление информации, которая может быть считана различными методами;

возможность применения высокостабильных материалов для изготовления оптических дисков;

использование универсальных защитных контейнеров для оптических дисков [1, 2].

Практически во всех иерархических структурах хранения данных используются оптические носители для архивного хранения данных.

Технологии создания оптических носителей долговременного хранения информации. В первых разработках оптических дисков предпринимались попытки реализовать технологию долговременного хранения данных [3]. Первые оптические дисковые носители были созданы на основе стеклянных дисков с однослойным термочувствительным регистрирующим слоем, в которых применялась перфорационная запись на тонких пленках стеклообразных халькогенидных полупроводников [4]. В результате исследований образцов оптических стеклянных дисков с регистрирующими средами такого типа установлено, что после хранения в течение 25—30 лет в неотапливаемых помещениях сохранились форма и размеры питов (рис. 1) [5].

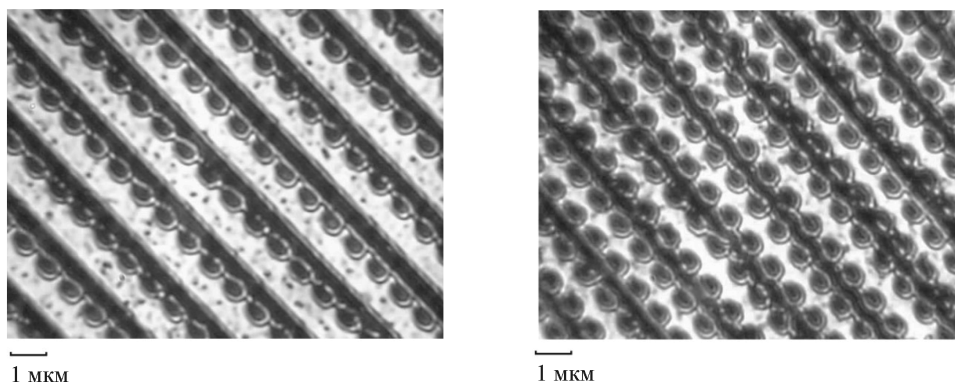


Рис. 1. Внешний вид зоны записи с различной плотностью на оптическом носителе

Более 30 лет назад штампованные из поликарбоната компакт-диски стали средством массового распространения информации в цифровом виде. Используемые в них материалы не позволяли обеспечивать долговременное хранение данных (прежде всего, вследствие низкой временной стабильности поликарбоната [6]). Однако они достаточно широко использовались для создания архивных копий. В используемых в архивах компакт-дисках с однократной записью в качестве регистрирующей среды применяются тонкие пленки органического красителя, имеющие низкие температуру плавления и коэффициент отражения. Для получения больших значений сигналов считывания в таких носителях применяют металлический отражающий слой со слабой адгезией к слою органического красителя. Это приводит к расслоению носителя при резких изменениях температуры, что является одной из основных причин выхода из строя оптических носителей с однократной записью.

Часть технических решений, а именно изготовление подложек из высокостабильных материалов, осуществление записи данных в однослойной регистрирующей среде с высокостабильным материалом, нашли применение в дальнейших разработках носителей информации долговременного хранения данных. Главным направлением повышения надежности хранения данных на оптических носителях с однократной записью была разработка специальных регистрирующих сред. В оптических носителях UDO (разработчик — компания Plasmon) однократная запись осуществлялась на регистрирующих средах с необратимыми фазовыми переходами. Гарантированный срок хранения данных на таких носителях составляет 50 лет [7].

Большой срок хранения данных прогнозируется на оптических носителях с однослойной металлокерамической регистрирующей средой. Материал регистрирующего слоя имеет достаточно высокий коэффициент

отражения, что исключает необходимость использования отражающего металлического слоя. В таких дисках не решена проблема, связанная с нестабильностью характеристик используемых подложек из поликарбоната. Ожидаемая долговечность М-дисков — более тысячи лет при температуре хранения 25 °С и относительной влажности окружающей среды 50 %. Однако уже при температуре 40 °С и относительной влажности 70 % ожидаемая долговечность составляет 53 года [8]. Национальный институт стандартов и технологий (NIST, США) определил срок хранения М-диска в 1000 лет (М — Millenium), поликарбонат выдерживает сильные перепады температур только в течение короткого промежутка времени [9].

Много внимания уделяется созданию технологии изготовления оптических носителей типа ROM, которые могут обеспечить срок хранения данных несколько сотен лет в жестких климатических условиях. В частности разработан носитель, состоящий из вольфрамовой подложки с микро-рельефной структурой, герметизированной нитридом титана. Заявленная долговечность такого носителя — более 1 млн. лет [10].

Для обеспечения долговременного хранения данных на оптических носителях целесообразно использовать в качестве подложек оптических дисков высокостабильные монокристаллические материалы, в частности кварц [11—14] и монокристаллический сапфир [15—18]. В некоторых случаях на кварцевых носителях целесообразно выполнять многослойную однократную (режим WORM) запись данных, осуществляемую сверхкороткими (фемтосекундными) лазерными импульсами [12, 13]. Информацию на поверхности высокостабильных монокристаллических материалов предлагается записывать как в аналоговом [10, 15, 16], так и в цифровом виде [17, 18].

Сапфировые диски для носителей долговременного хранения данных. Для оптических дисков долговременного хранения данных целесообразно использовать подложки из высокостабильных материалов. Максимальные сроки хранения данных могут быть обеспечены при изготовлении подложек из монокристаллических материалов, в первую очередь сапфира, сохраняющего свои свойства при температуре до 2050 °С. Использование сапфира в качестве подложек оптических дисков позволяет создавать уникальные носители для долговременного хранения данных, которые имеют высокую устойчивость к механическим повреждениям, не подвержены воздействию химически активных сред и способны выдерживать температуру 1000 °С и более. Ни один из существующих цифровых носителей не способен обеспечить хранение данных в таких условиях.

В настоящее время освоено массовое производство синтетических монокристаллов сапфира и полированных подложек с заданной кристал-

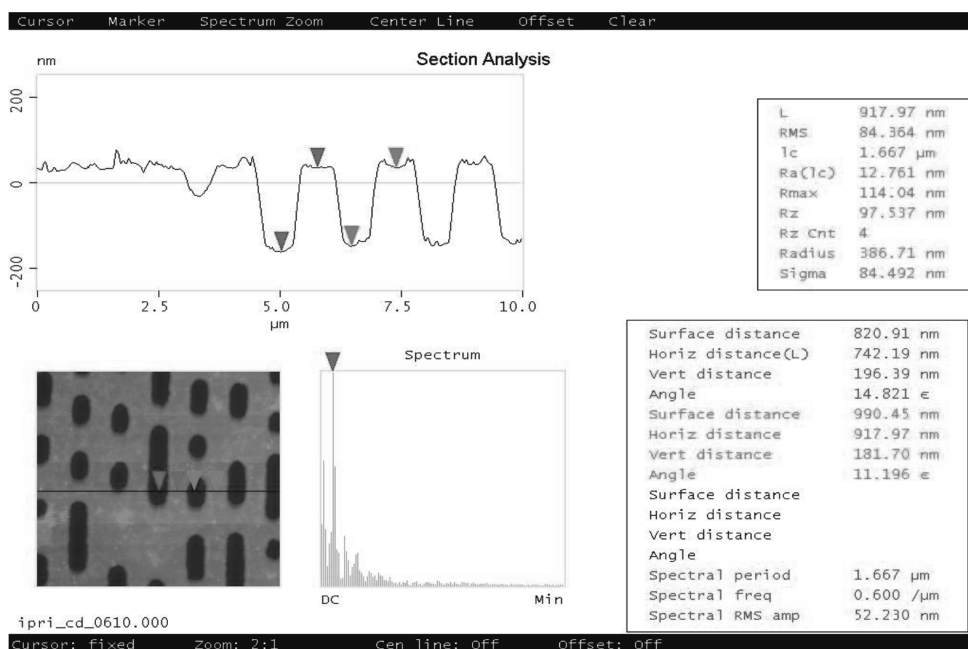


Рис. 2. Зона записи на поверхности сапфирового диска

логографической ориентацией. Единственный анонсируемый сегодня сапфировый носитель, способный обеспечить долговременное хранение данных и ориентированный на массовое производство, — носитель, изготавливаемый по проекту La Nanoforme [16]. Предполагается изготовление оптических сапфировых носителей различных диаметров от двух до четырех дюймов. Информация записывается на носитель в аналоговой форме (в виде изображений). Запись данных на такой носитель осуществляется фемтосекундными импульсами сфокусированного лазерного излучения с последующим жидкостным селективным травлением, в результате которого формируется микрорельефная структура на поверхности подложки носителя информации.

Аналоговая форма представления данных в оптических носителях долговременного хранения позволяет использовать различные системы считывания записанной информации, включая оптические микроскопы, однако не позволяет реализовать воспроизведение данных на стандартных устройствах. Целесообразность применения сапфира в качестве подложки для дисков было очевидным, однако наличие оптической анизотропии монокристалла сапфира препятствовало созданию цифрового оптического сапфирового диска.

При воспроизведении данных через подложку из монокристаллического сапфира возникает проблема, связанная со значительным двулучепреломлением ($n_o = 1,78038$, $n_e = 1,77206$, $\lambda = 0,442$ мкм). Для компенсации влияния двулучепреломления, приводящего к увеличению диаметра сфокусированного пятна, предложено использовать компенсирующую пластинку из монокристаллического кварца, расположенную между фокусирующим объективом и подложкой носителя информации. Ввиду того, что разность между показателями преломления обыкновенного и необыкновенного лучей имеет приблизительно такое же значение, как и для сапфира, но с противоположным знаком, удалось скомпенсировать размытие сфокусированного через сапфировую подложку излучения, используемого для воспроизведения данных.

Размещение кварцевой компенсационной пластинки толщиной 0,5 мм в оптическом канале стандартного DVD плеера позволяет считывать информацию через подложку из сапфира толщиной 0,7 мм. Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о возможности компенсации оптических искажений, возникающих при фокусировке лазерного излучения через сапфировую подложку, а главное — об отсутствии ограничений на создание дисков долговременного хранения данных. Воспроизведение записанных данных осуществляется на проигрывателях оптических дисков с небольшой модернизацией, которая заключается в размещении дополнительной фазовращающей пластинки, расположенной между фокусирующей линзой и носителем информации для компенсации явления двойного лучепреломления в сапфировой подложке [18]. Микрорельефные структуры получают на поверхности сапфировых подложек в результате плазмохимического травления (рис. 2). Запись информации на сапфировый диск осуществляется на станции лазерной записи дисков-оригиналов, используемой в производстве компакт-дисков.

Выводы

Создание оптических носителей долговременного хранения данных основано на использовании микрорельефной записи информации на сапфировых подложках. Запись данных осуществляется в форматах, используемых при записи информации на компакт-диски. Использование сапфировых оптических дисков позволяет организовать долговременное хранение электронной документации без применения сложных и дорогостоящих технологических переходов из цифровой формы в аналоговую и обратно, а также повышает защищенность электронной информации от потерь, несанкционированного доступа и внесения изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров В.В., Пузиков В.М., Крючин А.А. и др. Оптические диски для долговременного хранения информации // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. — 2009. — 7, № 3. — С. 825—832.
2. Подойницын В.А., Козырев В.М., Пахомова И.В. Проблемные вопросы архивного хранения аудиовизуальных документов на оптических дисках // Страховой фонд документации. — 2014. — № 2 (17). — С. 22—32.
3. Петров В.В., Крючин А.А., Токарь А.П. и др. Оптико-механические запоминающие устройства. Отв. ред. А.Г. Додонов. — Киев. : Наук. думка, 1992. — 152 с.
4. Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М. та ін. Надщільний оптичний запис інформації — Київ: Ін-т проблем реєстрації інформації, Національна АН України, 2009. — 282 с. — ISB № 978-966-02 — 5027.
5. Petrov V.V., Krychyn A.A., Gorbov I.V. et al. Analysis of properties of optical carries after long-term storage // Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics. — 2009. — Vol. 12. — № 4. — P. 399—402.
6. Nikles D.E., Wiest J.M. Accelerated aging studies and the prediction of the archival lifetime of optical disc media // Recent Advances in Metrology, Characterization, and Standards for Optical Digital Data Disks. Proc. SPIE 3806, 18 July 1999, Denver, CO, USA. — P. 30.
7. Plasmon News. First Real-Time Tests Help Determine Security of Data Stored on WORD Media [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.plasmon.com>. — Название с экрана.
8. Summary Report by ISO/IEC 10995 Test Program Performed by Millenniata on M-DISC™ DVD [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.mdisc.com/uploads/M-DISC_1sheet_Test_Summary.pdf. — Название с экрана.
9. Изучаем накопители для длительного хранения данных [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ichip.ru/izuchaem-nakopiteli-dlya-dlitelnogo-hraneniya-dannih.html>. — Название с экрана.
10. Vries J., Schellenberg D., Abelman L. et al. Towards Gigayear Storage Using a Silicon-Nitride/Tungsten Based Medium // Arxiv.org. — 2013. — Article ID arXiv:1310.2961v1. — 19 p.
11. Hitachi claims glass data storage will last millions of year [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.theregister.co.uk/2012/09/24/hitachi_glass_storage/. — Название с экрана.
12. Zhang J., Gecevičius M., Beresna M. et al. 5D Data Storage by Ultrafast Laser Nanostructuring in Glass // CLEO: Science and Innovations paper: CTh5D.9 (2013).
13. Shimotsuna Y., Sakakura M., Kazansky P.G. et al. Ultrafast Manipulation of Self-Assembled Form Birefringence in Glass // Adv. Mater. — 2010. — Vol. 22. — P. 4039—4043.
14. Zhang J., Gecevičius M., Beresna M. et al. Seemingly Unlimited Lifetime Data Storage in Nanostructured Glass // Phys. Rev. Let. — 2014. — Vol. 112. Article ID 033901. — 5 p.
15. Fahrenheit 2451 — Preserve Your Data in a Sapphire Disk: Preserve your most precious memories for thousands of years [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://icrowdnewswire.com/2015/06/30/fahrenheit-2451-preserve-your-data-in-a-sapphire-disk-preserve-your-most-precious-memories-for-thousands-of-years-the-only-storage-medium-that-resists-fire-water-and-time/>. — Название с экрана.
16. New storage disc that secures data for 2.000 years + [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.abovetopsecret.com/forum/thread855634/pg1>. — Название с экрана.
17. Петров В.В., Семиноженко В.П. Новітня технологія довготривалого зберігання інформації на сапфірових оптичних дисках // Вісн. НАН України. — 2014. — № 4. — С. 24—32.
18. Petrov V.V., Semynozhenko V.P., Puzikov V.M. et al. Method of aberration compensation in sapphire optical disks for the long term data storage // Functional Materials. — 2014. — Vol. 21 (1). — P. 105—111.

V.V. Petrov, A.A. Kryuchyn, S.M. Shanoylo

OPTICAL CARRIERS FOR LONG-TERM DATA STORAGE

Methods for creating optical carriers for long-term storage have been analyzed. It is shown that the problem of long-term storage of strategic information can be solved using sapphire discs with microrelief representation of the data. The data are presented on recording submicron structures on the surface of the sapphire substrate and reproducing the recorded data by a focused laser beam.

Keywords: optical media, long-term storage of information, sapphire discs.

REFERENCES

1. Petrov, V.V., Puzikov, V.M. and Kryuchyn, A.A. et al. (2009), "Optical discs for long-term storage of information", *Nanosistemy, nanomaterialy, nanotekhnologii*, Vol. 7, no. 3, pp. 825-832.
2. Podoinytsyn, V.A., Kozyrev, V.M. and Pakhomova, I.V. (2014), "Problematic issues of archiving audiovisual documents on optical disks", *Strakhovoi fond dokumentatsii*, no. 2 (17), pp. 22-32.
3. Petrov, V.V., Kryuchyn, A.A., Tokar, A.P. et al. (1992), *Optiko-mekhanicheskie zapominayushie ustroystva* [Optomechanical storages], Responsible editor Dodonov, A.G., Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
4. Petrov, V.V., Kryuchyn, A.A., Shanoylo, S.M., Kravets, V.G., Kossko, I.O., Belyak, Ye.V., Lapchuk, A.S. and Kostyukevych, S.O. (2009), *Nadshchilnyi optychnyi zapys informatsii* [Superhigh density optical recording of information], Institut problem reyestratsii informatsii, NAS Ukrainy, Kiev, Ukraine.
5. Petrov, V.V., Kryuchyn, A.A., Gorbov, I.V., Kossko, I.O. and Kostyukevych, S.O. (2009), "Analysis of properties of optical carries after long-term storage", *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*, Vol. 12, no. 4, pp. 399-402.
6. Nikles, D.E. and Wiest, J.M. (1999), "Accelerated aging studies and the prediction of the archival lifetime of optical disc media", *Recent Advances in Metrology, Characterization, and Standards for Optical Digital Data Disks, Proc. SPIE 3806*, Denver, CO, USA, July 18, 1999, p. 30.
7. Plasmon News. First Real-Time Tests Help Determine Security of Data Stored on WORD Media, available at: <http://www.plasmon.com>.
8. Summary Report by ISO/IEC 10995 Test Program Performed by Millenniata on M-DISC™ DVD, available at: http://www.mdisc.com/uploads/M-DISC_1sheet_Test_Summary.pdf.
9. "Study operating drives for long-term data storage", available at: <http://ichip.ru/izuchaem-nakopiteli-dlya-dlitelnogo-hraneniya-dannih.html>.
10. Vries, J., Schellenberg, D., Abelman, L. et al. (2013), "Towards gigayear storage using a silicon-nitride/tungsten based medium", Arxiv.org., Article ID arXiv:1310.2961v1.
11. Hitachi claims glass data storage will last millions of year, available at: http://www.theregister.co.uk/2012/09/24/hitachi_glass_storage/.
12. Zhang, J., Gecevičius, M., Beresna, M. et al. (2013), "5D data storage by ultrafast laser nanostructuring in glass", CLEO: Science and Innovations paper: CTh5D.9.
13. Shimotsuma, Y., Sakakura, M., Kazansky, P.G. et al. (2010), "Ultrafast manipulation of self-assembled form birefringence in glass", *Advanced Materials*, Vol. 22, pp. 4039-4043.
14. Zhang, J., Gecevičius, M., Beresna, M. et al. (2014), "Seemingly unlimited lifetime data storage in nanostructured glass", *Physical Review Letters*, Vol. 112, Article ID 033901.

15. Fahrenheit 2451 - Preserve Your Data in a Sapphire Disk: Preserve your most precious memories for thousands of years, available at: <http://icrowdnewswire.com/2015/06/30/fahrenheit-2451-preserve-your-data-in-a-sapphire-disk-preserve-your-most-precious-memories-for-thousands-of-years-the-only-storage-medium-that-resists-fire-water-and-time/>.
16. New storage disc that secures data for 2.000 years +, available at: <http://www.abovetopsecret.com/forum/thread855634/pg1>.
17. Petrov, V.V. and Semynozhenko, V.P. (2014), "The latest technology for long-term storage of sapphire optical disk", *Visnyk. NAN Ukrainy*, no. 4, pp. 24-32.
18. Petrov, V.V., Semynozhenko, V.P., Puzikov, V.M., Kryuchyn, A.A., Lapchuk, A.S., Morozov, Ye.M., Borodin, Y.O., Shyhovets, O.V. and Shanoylo, S.M. (2014), "Method of aberration compensation in sapphire optical disks for the long term data storage", *Functional Materials*, Vol. 21 (1), pp. 105-111.

Поступила 08.06.16

ПЕТРОВ Вячеслав Васильевич, академик НАН Украины, директор Ин-та проблем регистрации информации НАН Украины. В 1962 г. окончил Харьковский политехнический ин-т. Область научных исследований — информатика, материаловедение, нанотехнологии.

КРЮЧИН Андрей Андреевич, чл.-кор. НАН Украины, зам. директора Ин-та проблем регистрации информации НАН Украины. В 1971 г. окончил Киевский университет им. Т.Г. Шевченко. Область научных исследований — информационные технологии, нанотехнологии.

ШАНОЙЛО Семен Михайлович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ученый секретарь Ин-та проблем регистрации информации НАН Украины. В 1971 г. окончил Киевский политехнический ин-т. Область научных исследований — информационные технологии.

