

Носители на основе стекла не подвержены старению и устойчивы к экстремальным условиям

создания локальных дефектов сфокусированным пучком фемтосекундного лазера. Лазер излучает сверхкороткие импульсы длительностью порядка 10^{-13} с (десять или сотни фемтосекунд). При прохождении фемтосекундных импульсов через прозрачную для них среду они поглощаются только вблизи точки фокусировки пучка, где резко возрастает интенсивность лазерного излучения. Это позволяет создавать в глубине материала локальные дефекты размером от одного до нескольких микрон. Таким образом, открывается возможность создания многослойной трехмерной памяти с записью вплоть до десятков и сотен слоев данных в объеме кварцевого стекла. Но в 1990-х годах уровень развития лазерной техники еще не позволял говорить о практически применимой технологии оптической памяти.

В 2003 году международная группа исследователей из Саутгемптонского университета (Великобритания), Киотского университета (Япония) и Шанхайского института оптики и точной механики (Китай) опубликовала работу, посвященную новому типу наноструктур, которые возникают в кварцевом стекле при определенных режимах его обработки лазерным пучком — так называемым нанорешеткам. За счет периодического варьирования показателя преломления с шагом 0,1–0,3 мкм в нанорешетке возникает эффект двулучепреломления. Этот эффект широко распространен в мире кристаллов, но не характерен для стекол — в силу изотропности их свойств. Эффект приводит к тому, что компоненты проходящего через нанорешетку света, поляризованные параллельно и перпендикулярно ее слоям, движутся с разной скоростью, поэтому после прохождения нанорешетки они оказываются сдвинуты друг относительно друга, и этот фазовый сдвиг можно измерить на поляризационном микроскопе. Важнейшим свойством нанорешеток оказалась исключительная термостабильность — при температуре 1000°C они могут сохраняться несколько часов, при 700°C — около полугода, при 400°C — несколько тысячелетий, а при комнатной температуре расчеты срока их существования дают 1020 лет — для истории человечества это вечность.

Спустя десять лет группа из Саутгемптонского университета сформулировала принцип многоуровневой сверхстабильной оптической памяти на нанорешетках в кварцевом стекле. В отличие от обычных оптических дисков, где в каждой точке записи кодируется 1 бит, в каждой нанорешетке предложено записывать сразу несколько битов, которые закодированы в значениях двух характеристик нанорешетки — ее ориентации в стекле и величине фазового сдвига, который возникает между компонентами прошедшего через нее света.

Этими характеристиками можно управлять, изменяя параметры записывающего нанорешетку лазерного пучка. Многоуровневое кодирование позволяет в несколько раз увеличить плотность записи, а возможность многослойной записи нанорешеток открывает пути к ее еще большему увеличению.

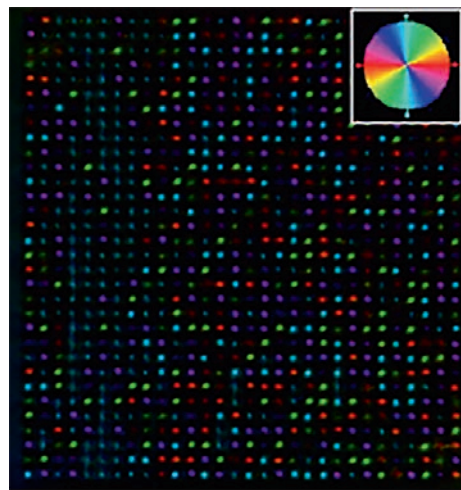
Проект «Кварц»

Несколько лет назад на кафедре химической технологии стекла и ситаллов Российского химико-технологического университета (РХТУ) имени Д.И. Менделеева сформировалась научная группа, работающая в области лазерного микро- и наномодифицирования стекол и кристаллов. Эти исследования оказались быстро востребованными: в конце 2014 года в РХТУ по инициативе и на средства Фонда перспективных исследований был запущен проект «Кварц», задача которого — создание технологии оптической памяти на нанорешетках в кварцевом или другом оксидном стекле с неограниченным сроком хранения данных.

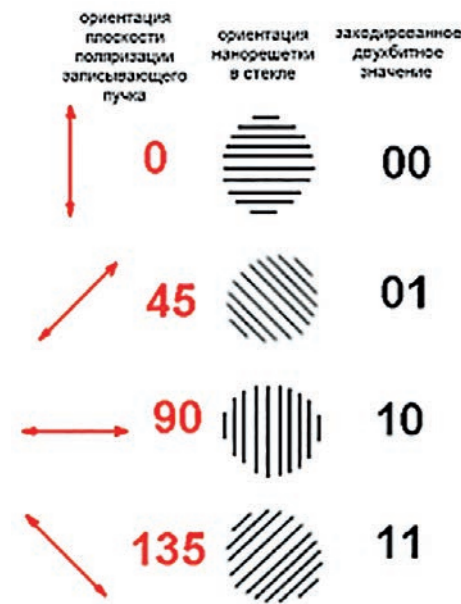
Для выполнения работ по этому проекту при кафедре химической технологии стекла и ситаллов была создана лаборатория лазерного наноструктурирования стекла.

В случае успеха впервые будет создан цифровой носитель информации, который не подвержен естественному старению, допускает неограниченное количество циклов считывания, не имеет специальных требований к условиям хранения, устойчив к экстремальным климатическим условиям, электромагнитному полю, статическим зарядам, свету, а кроме того, обладает высокой устойчивостью к механическим воздействиям, агрессивным химическим средам, радиации, повышенной температуре, включая открытое пламя.

Эта технология не станет конкурентом для флешек или оптических дисков. Ее рыночная ниша — архивное хранение особо важной информации. Такие системы востребованы в государственных архивах, базах данных органов власти, крупных компаниях и медицинских учреждениях, библиотеках и



— Псевдоцветовая микрофотография участка с данными, записанными в виде нанорешеток. Цвет показывает ориентацию нанорешеток (в соответствии с круговой шкалой в углу снимка), а яркость пропорциональна величине фазового сдвига в проходящем свете



— Принцип многоуровневого кодирования 2 бит данных в углах ориентации нанорешетки

фильмофондах. Уже сейчас результаты проводящихся в РХТУ исследований отслеживают некоторые организации, работающие с крупными архивами оцифрованных документов. Высокая стоимость оборудования и носителей компенсируется снижением расходов на инфраструктуру и на регулярную перезапись данных. Ожидается, что, как и для первого поколения компакт-дисков, запись и считывание будут производиться отдельно. Дорогие и громоздкие системы записи будут работать в специализированных центрах, а более дешевые и компактные системы считывания будут доступны многочисленным пользователям.

Несмотря на простоту принципа записи, для разработки конкурентоспособной технологии памяти на нанорешетках нужно решить ряд непростых проблем. Сверхстабильное хранение больших объемов данных теряет смысл, если их нельзя быстро записать и считать. Законы физики не обманешь — для формирования в кварцевом стекле высокостабильной нанорешетки, устойчивой к внешним факторам, требуется гораздо больше энергии, чем для записи на оптический диск. Поэтому для записи с высокой скоростью потребуются фемтосекундные лазеры последнего поколения с мощностью до десяти ватт и выше — в десятки раз больше мощности лазеров в приводах оптических дисков. Именно мощность лазера может стать фактором, ограничивающим скорость записи. Как показали последние исследования, механизм записи нанорешетки принципиально требует более одного лазерного импульса, а для заметного сдвига фаз в прошедшем через нанорешетку свете необходимо несколько десятков импульсов. Это увеличивает время записи одной точки до десятков или сотен микросекунд — непозволительно долго по меркам современных записывающих устройств, в которых за секунду сохраняются миллионы бит. Компенсировать длительность процесса записи можно, подобрав материал, в котором нанорешетки записываются двумя-тремя импульсами, или создав многоканальную систему записи. Это отдельная и сложная техническая задача.

Альтернативным решением может стать и использование одноуровневой записи — записи 1 бита в точке, для этого уже не требуется формирование нанорешетки. Одним импульсом можно создать хорошо различимый микродефект и выиграть в скорости записи — но за счет уменьшения плотности хранения информации.

Система быстрого считывания «на просвет» с носителя, содержащего многие слои данных, тоже требует оригинальных решений — как в оптической схеме, так и в электронной системе анализа считанных сигналов, позволяющей «на лету» производить декодирование записанных битов, отделяя их от шумов. Эта задача становится одной из центральных в работе лаборатории.

Сотрудники лаборатории не ограничиваются экспериментами с кварцевым стеклом. Кафедра химической технологии стекла и ситаллов разрабатывает стеклообразные материалы многие годы, и накопленный опыт позволяет вести поиск стекол, которые могли бы превзойти кварцевое. На кафедре исследуются и альтернативные варианты оптической памяти — например, запись за счет локального формирования в стекле люминесцентных свойств, нанокристаллов с высоким показателем преломления и т. д.

Через полгода цикл исследовательских работ и разработка демонстраторов записи и считывания завершится. За ними должна последовать опытно-конструкторская стадия, и можно надеяться, что через несколько лет российские системы сверхстабильной памяти начнут планомерную работу по увековечению нашей цивилизации.

СЕРГЕЙ ЛОТАРЕВ, кандидат химических наук, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

— Образец из кварцевого стекла на экспериментальном стенде записи данных пучком фемтосекундного лазера

