## ****Слой - основа диска****

По своему устройству диск CD-R (заготовка для записи), также как и его "штампованный" собрат, напоминает слоёный пирог (рис.1) и отличается только наличием активного (регистрирующего) слоя.

**рис.1**

Главной "деталью" CD-R диска является основа. От качества изготовления основы зависит почти половина качества всего диска. Правда, к характеристикам материала, из которого выполнена основа, особых требований не предъявляется, применяется тот же поликарбонат, который используется и при изготовлении CD-ROM. Но вот рельеф основы намного сложнее, чем у записанного диска (CD-ROM). Трудности начинаются с того, что "чистая", незаписанная заготовка не содержит никакой информации и, соответственно, на ее поверхности не должно быть никаких питов. Но ведь питы - это не только хранимая информация, но и источник данных для работы следящей системы. Как же на незаписанной заготовке удержать записывающую головку на воображаемой спирали с достаточной точностью? Для этого основа CD-R диска при изготовлении получает разметку - сплошную спиральную канавку (Pregroove). Трёхмерное изображение поверхности основы CD-R, построенное по результатам измерений в лаборатории атомно-силовой микроскопии Института физики полупроводников Национальной академии наук Украины, приведено на рис.2.

**рис.2**

Точные значения ширины, глубины и даже угла наклона боковых стенок - это и есть самое большое ноу-хау фирмы, выпускающий CD-R.

Эта направляющая канавка заполняется органическим красителем. Благодаря красителю луч лазера несколько ослабляется, поэтому от самой канавки в фотоприёмники попадает меньше света, чем от остальных участков диска. Этого достаточно для надёжной работы следящей системы устройства записи. Конечно, краситель не может быть очень тёмным. Ведь его наличие не должно в дальнейшем мешать считывающим устройствам, которые могут и не предполагать наличие спиральной разметки. Но следящая система записывающего устройства специально разработана для отслеживания положения относительно слабоконтрастной дорожки.

В CD-ROM питы не только содержат полезную информацию и позволяют следить за информационной дорожкой, но и служат для синхронизации частоты своего тактового генератора с частотой следования битов считываемого последовательного кода. Отсутствие питов у незаписанного CD-R заставляет применять весьма хитроумные технические решения для синхронизации частоты тактового генератора (в данном случае со скоростью вращения диска). В частности, в CD-R канавка выполнена не в виде ровненькой спирали, как её представлял себе Архимед, а с микроскопическими отклонениями - вобуляцией (рис.3).

**рис.3**

Частота колебаний канавки относительно спиральной траектории составляет 22,05 кГц (для скорости вращения диска 1х). Соответственно, один период этих колебаний занимает 60 мкм спиральной траектории. Амплитуда колебаний всего 0,03 мкм, значительно меньше ширины самой канавки, но этого достаточно, чтобы выделить колебания с частотой 22,05 кГц и синхронизировать этими колебаниями частоту своего тактового генератора.

К сожалению, на этом трудности с определением местоположения записывающей головки не заканчиваются. Как известно, информация на CD-ROM записана отдельными порциями - кадрами (секторами, блоками). В заголовке каждого кадра содержится служебная информация, в том числе и о номере текущего кадра. Номер кадра представляется двоично-десятичным кодом в формате (минута): (секунда): (номер кадра в пределах данной секунды). Каждая секунда содержит 75 кадров. Пока на CD-R не записано ни одного кадра, информации о номере кадра не может быть. Но она ведь нужна!

На самом деле эта информация есть и на девственно чистом CD-R. Запрятана она также в форме канавки. Это так называемое действительное время по разметке (ATIP - Actual Time In Pregroove). Вся спиральная разметка разбивается на фреймы, каждый из которых по длительности соответствует одному кадру информации. Информация о номере фрейма (будущего кадра) представлена на разметке путем сдвига частоты вобуляции на 1 кГц от значения 22,05 кГц, т.е. реально частота вобуляции принимает значения 21,05 кГц или 23,05 кГц. То или иное текущее значение частоты вобуляции играет ту же роль, что и питы и ленды на поверхности CD-ROM. Номер фрейма - это 42 последовательных временных интервала, закодированных рассмотренным выше кодом EFM. Серия из 42 временных интервалов декодируется в 3 байта, из них один байт (две десятичные цифры) - это минута, один байт (две десятичные цифры) - секунда и один байт (также две десятичные цифры) - номер фрейма в текущей секунде.

Спиральная канавка у CD-R начинается несколько ближе к центру диска, чем у обычного CD-ROM начинается последовательность питов. На этом начальном участке, недоступном, как правило, для считывающих приводов CD-ROM, расположены две служебные области: для калибровки мощности лазера перед записью PCA (Power Calibration Area) и для временного хранения таблицы содержания диска PMA (Program Memory Area). PCA используется для выбора оптимальной мощности лазера перед каждой записью, а PMA - для временного хранения таблицы содержимого диска в процессе записи.

PCA и PMA являются таблицами фиксированной длины ёмкостью по 99 элементов каждая, что и ограничивает возможное количество сессий.

На этом участке существует также специальная таблица, в которой содержатся некоторые сведения, характеризующие данный CD-R. Таблица содержит специальную информацию, которая присутствует всегда, и дополнительную информацию, которая может быть на диске, а может и не быть. Специальная информация - это, например, сведения об производителе матрицы, с которой изготовлена основа данного CD-R, сведения о применяемом красителе и оптимальной мощности лазера, код применения (например, для бытовых аудиорекордеров). Дополнительная информация - это, например, максимальная и минимальная скорость записи. Таблица выполнена путем формирования самых настоящих "питов" и "лендов", как в CD-ROM, т.е. не может быть изменена никаким способом. Но она может быть прочитана. Для этого существуют различные программы, например, CDR Media Code Identifier (одна из самых удачных и широко распространённых).

К сожалению, такие программы довольно часто бесполезны, особенно для новых CD-R. Дело в том, что точное содержание таблицы и коды производителей матрицы определяются Orange Forum - организацией, занимающейся стандартизацией в области CD-R. Раньше вся эта информация была общедоступной. Сейчас сайт Orange Forum выглядит не очень информативно, а информация по этим кодам находится в закрытом доступе.

Активный слой. Активный слой - на самом деле это и есть тот краситель, которым заполняется направляющая канавка. Так он и задумывался. Но, несмотря на то, что сейчас мы рассматриваем этот слой только как заполнение красителем специальной канавки, это все же слой. Почему это так, нам станет предельно понятно после того, как мы разберемся с технологическими особенностями изготовления CD-R. Сейчас же давайте только посмотрим, каким же образом осуществляется запись информации на CD-R, или, другими словами, как канавка превращается в питы.

Выжигаем информацию. В процессе записи на отдельных участках мощность лазера увеличивается от 0,7 мВт (мощность при считывании) до величины порядка 8 мВт (для первой скорости). Энергия лазерного луча поглощается органическим красителем и преобразуется в тепло. Иногда этот процесс называется "прожигание". Термин "прожигание" не совсем точен и в некотором смысле даже вреден. Создается впечатление, что в отражающем слое или где-то ещё создаются "дырки". На самом деле под действием выделяющегося тепла происходят различные изменения (Рис.4).

Рис.4. Так канавка превращается в питы

В результате нагрева краситель обугливается и в нём появляются микроскопические газовые пузырьки. В процессе выделения газов увеличивается объём красителя и деформируется отражающий слой. Краситель нагревается до температуры, превышающей температуру плавления поликарбоната, вследствие чего и сама основа в данной точке плавится и деформируется.

Для разных дисков и разных режимов записи могут преобладать те или иные эффекты. Это не столь важно, в любом случае прозрачность такого участка с точки зрения лазера значительно ухудшается, что эквивалентно "питу" в обычном CD-ROM. Возникает только путаница, как это всё назвать. Ведь под термином "ленд" понимается вся поверхность диска, не занятая питами. Собственно, слово-то land и переводится с английского как "поверхность". И в дисках CD-R есть самый настоящий ленд: это участки поверхности между витками направляющей канавки. Поэтому канавка у незаписанного диска CD-R называется просто канавка (groоve), а после записи вся канавка считается разбитой на ряд питов. Только одни питы обозначают питы (pit marks pits), а другие питы обозначают ленды (land marks pits).

После того, как диск записан, надобность в канавке с ATIP отпадает. Обычные приводы CD-ROM даже не догадываются о её существовании, а просто анализируют тёмные и светлые участки диска. При этом, когда привод читает записанный диск, то следить за дорожкой ему даже легче. Даже на участках, соответствующих ленду на "алюминиевом" диске, т.е. светлых участках, сама дорожка немного темнее остальной поверхности. Но вот считывать записанную информацию труднее, чем с CD-ROM. Это и меньший коэффициент отражения из-за наличия дополнительного слоя, это и качество формирования питов лазерным лучом. Качество формирования питов зависит, конечно, в первую очередь от свойств красителя, поэтому рассмотрим этот вопрос подробнее.

В действительности взаимодействие луча лазера с активным слоем намного сложнее. Но более строго мы сможем рассмотреть влияние параметров активного слоя на качественные характеристики CD-R только после краткого анализа особенностей технологического процесса изготовления CD-R, что и будет сделано в продолжении данной статьи. Сейчас же мы можем обсудить характеристики красителей только как вещества, которое заполняет направляющую канавку и "прожигается" в процессе записи.

Красивые подробности о красителях. В настоящее время на рынке представлены первоклассные модели CD-R дисков с различным активным слоем. Конечно, каждый тип активного слоя обладает своими специфическими характеристиками. И производители CD-R на этом основании проводят мощные рекламные акции для доказательства того, что применяемый данной компанией активный слой самый активный в мире. Taiyo Yuden гордится тем, что она первая применила активный слой на основе цианина, и именно он лег в основу стандарта под названием "Оранжевая книга", в котором описывается, каким должен быть CD-R. Ей вторит TDK, которая говорит что только цианин хорош для Audio CD (подразумевается, наверное, не просто цианин, а именно цианин от TDK). Концерн Mitsubishi Chemical разработал краситель Metal Azo и почти убедил нас в том, что только диски Verbatim, использующие краситель Metal Azo, пригодны для записи. А в это время Mitsui Advanced Media, Inc. запатентовала по крайней мере два типа красителей на основе фталоцианина и утверждает, что её диски - это "диски третьего тысячелетия". Где же правда?

Если оставить в стороне рекламную шумиху вокруг данного вопроса, то окажется, что существует только две разновидности красителей: на основе цианина и на основе фталоцианина.

Цианин - это краситель, который исторически первым начал применяться в CD-R. Своё название он получил из-за цвета (cyan - голубой). Никакого отношения к ядовитым цианидам он не имеет, так что не пытайтесь скормить испорченный CD-R любимой тёще.

В чистом виде цианин никогда не применялся в CD-R. Сам по себе этот краситель очень чувствителен к солнечному свету, поэтому всегда требует применения стабилизирующих добавок. Цианин имеет достаточно тёмный цвет. Поэтому направляющая дорожка оказывается очень контрастной, и любое записывающее устройство изначально с успехом справлялось с задачей отслеживания этой дорожки. Но из-за тёмного цвета коэффициент отражения света даже на тех участках, которые должны быть светлыми, получается не очень высок. Это являлось основной причиной того, что "золотые диски" плохо читались в обычном приводе CD-ROM. Конечно, за время существования CD-ROM и записывающие устройства, и читающие приводы, и сам краситель стали уже не те, что были 20 лет назад. В современных заготовках на основе цианина какие-либо проблемы, связанные с цветом красителя, практически исключены. Единственной действительной проблемой является чувствительность цианина к ультрафиолетовым лучам. Диск, эксплуатируемый в солнечных помещениях, может довольно быстро растерять все записанные на него битики.

Кроме того, цианин идеально работает при записи на первой скорости, но при увеличении скорости записи качество записи, как правило, оставляет желать лучшего. Поэтому исследования, направленные на улучшение эксплуатационных характеристик цианина, продолжаются и сейчас. Наиболее значительная разработка в этом плане - это краситель Metal Azo.

Краситель Metal Azo разработан концерном Mitsubishi Chemical и применяется только в дисках с торговой маркой Verbatim. Это тоже цианин, но с уникальными патентованными стабилизирующими добавками. Диски Verbatim имеют очень приятный насыщенный синий цвет. Приятно брать в руки, и ни с какими другими не спутаешь. Но главное достоинство этих дисков, конечно, не в красоте. Благодаря добавкам удалось значительно повысить стойкость красителя к ультрафиолетовым лучам и теплу. Кроме того, значительно расширился диапазон скоростей записи. Именно поэтому диски Verbatim пользуются заслуженным уважением.

Фталоцианин разработан одним из самых известных производителей CD-R - фирмой Mitsui. Одной из целей разработки было именно понижение чувствительности к ультрафиолетовым лучам. Фталоцианин сам по себе намного стабильнее, чем цианин, и поэтому не требует никаких дополнительных стабилизирующих добавок. Преобладающим эффектом при записи диска с активным слоем на основе фталоцианина является выделение газов с образованием пузырьков и сопутствующей деформацией отражающего слоя. Поэтому фталоцианин требует меньшей мощности лазера при записи (рис.5).

Рис.5. Требуемая мощность лазера при записи (по данным Mitsui Toatsu)

Фталоцианин, в противоположность цианину, очень хорошо работает на повышенных скоростях записи и плохо - на первой скорости.

Фталоцианин имеет золотистый цвет и значительно светлее цианина. Более того, даже после записи диск остается почти прозрачным. На этом основании многие испытывают предубежденность к нескромно-светлым дискам. Но реальных причин для беспокойства всё же нет. Это мы видим, какого цвета краситель у CD-R. Лазер же по своей природе дальтоник. Он "не понимает" цвет.д.ля него существуют только яркие участки и тёмные. Более того, лазерная головка определяет яркость только в инфракрасной области света, которую мы не видим. Поэтому мы с лазером никогда и не поймём друг друга. Остаётся полагаться только на обещания разработчиков красителя, что с точки зрения лазера краситель достаточно тёмный. Что же касается того факта, что диск остается светлым после записи, то и здесь ничего удивительного нет. Поскольку основным эффектом при записи для фталоцианина является образование газовых пузырьков и практически отсутствует потемнение, то сформированные питы в основном просто рассеивают свет. Мы-то видим и рассеянный свет, но лазеру, чтобы что-то увидеть, нужно очень точно этот свет сфокусировать. Поэтому лазеру записанные на фталоцианине питы всё равно кажутся абсолютно чёрными.

Конечно, когда первые диски с фталоцианиновым активным слоем только появились, с ними были реальные проблемы. Но проблемы были связаны не с худшими характеристиками красителя, а с тем, что эти характеристики не такие, как у цианина. Устройства записи не были готовы к работе с такими дисками. Во-первых, по всей видимости, не только для нас, но и для лазера фталоцианин несколько прозрачнее цианина. Некоторые записывающие устройства, похоже, просто теряли канавку в процессе записи и безнадежно портили заготовки. Но главное, даже если запись и происходила успешно, прочитать записанный диск можно было только на отдельных приводах CD-ROM. Низкое качество записи было связано чаще всего с тем, что записывающий привод или не понимал, какую мощность должен развить его лазер, или просто не мог стабильно поддерживать пониженный уровень мощности. Но это был период, когда для каждого привода приходилось подбирать тип заготовок, на которых запись проходила более-менее успешно. Ну и что, компьютерщики со стажем могут вспомнить период, когда обычные дискетки хорошо читались только в том приводе, на котором были записаны. Время то прошло. Сейчас, благодаря активной деятельности Orange Forum, такой проблемы не существует в принципе. И диски с надписью Mitsui, использующие фталоцианиновый краситель, считаются если не самыми лучшими, то уж, по крайней мере, одними из лучших в мире.

Одно из самых перспективных направлений в развитии красителей на основе фталоцианина - это технология Supergreen, разработанная концерном CIBA (Швейцария). Диски с красителем Irgafor, созданном на базе технологии Supergreen, выпускаются очень многими предприятиями, в том числе и киевским заводом "Росток-СД". Основным направлением разработки было создание красителя, способного работать при любой скорости записи. Особенно большой проблемой для фталоцианиновых красителей было низкое качество записи на первой скорости. Компьютерщиков этот вопрос, конечно, мало волнует. Им хочется записывать на скорости не меньше 16х. Но в мире существует огромное количество бытовых аудиорекордеров, которые записывают музыкальные произведения прямо на CD-R. По самой сути работы эти рекордеры должны работать на первой скорости. Поэтому одно время серьезно обсуждалась необходимость разделить все виды CD-R на две большие группы: для скоростей записи 1х...8х и для более высоких скоростей. Более того, диски были лучше всего оптимизированы для определенной скорости. Если на упаковке диска значилось 12х, то на этот диск можно было отлично записывать именно на скорости 12х. На более низких скоростях тоже можно писать, но уже несколько хуже. На коробках с дисками, изготовленными по технологии Supergreen, Rostok Media завода "Росток-СД", значится 1х...52х. Такие диски можно записывать на любой скорости.

Существуют и другие типы красителей. В частности, Kodak применяет свой краситель Formazan, который представляет собой гибридную смесь цианина и фталоцианина.

Качество диска - это способность без существенных ошибок записать информацию и способность достаточно долго ее хранить без увеличения частоты ошибок чтения записанной информации.

Другие слои CD-R отражающий. От параметров отражающего слоя также в большой степени зависит качество заготовки. Но здесь всё же у производителей CD-R не так много возможностей для маневра. Первые CD-R выпускались только с отражающим слоем из настоящего золота. Самой большой проблемой было обеспечить более-менее приемлемую отражающую способность, которая зависит как от свойств отражающего слоя, так и от свойств красителя.

Благодаря исследованиям специалистов компании Tajyo Yuden было найдено удачное сочетание: золото по цианину. И до сих пор многие предпочитают диски именно с таким отражающим слоем. Но на самом деле для покупателей этот вопрос должен стоять на последнем месте. Это только со стороны кажется, что если в конструкции чего-либо применяется золото, то это хорошо. В действительности же лучше получается, когда каждому времени свой овощ. Золото применялось вынуждено, когда и технология производства самих дисков еще не устоялась, и применяемые красители не позволяли использовать другие металлы. По ряду же параметров серебряное покрытие для CD-R предпочтительнее, особенно для заготовок, предназначенных для записи дисков на высоких скоростях и применяющих "прозрачные" красители. Могут применяться и специальные сплавы, обеспечивающие в ряде случаев даже лучшее качество (для конкретного красителя, разумеется), чем чистое серебро.

Таким образом, сейчас можно встретить диски с отражающим слоем из чистого золота, из чистого серебра и из блестящей фольги, состав которой от нас скрывают. Причем скрывают не потому, что в применении специально разработанной для этих целей фольги есть что-то нехорошее, а из популистских соображений. Нам ведь кажется, что лучше всего применять золото. Ну, в крайнем случае, серебро. Как же производитель может громко сказать, что он применяет не то, что мы хотим! А ведь покупаем то мы не золото и не серебро, а весь диск целиком.

Защитный. Защитный слой практически не участвует в процессе записи. Но при эксплуатации качество защитного слоя гораздо важнее качества любого даже самого активного слоя. Ведь отражающий слой очень тонок. Да и держится он, честно говоря, больше на честном слове, чем на предшествующем ему активном слое. Любое повреждение отражающего слоя приведёт к тому, что лучу лазера не от чего будет отражаться, и с его точки зрения в этом месте образовался один сплошной пит гигантских размеров. Для механической защиты отражающего слоя и введён защитный слой. Понимая важность защитного слоя для эксплуатации, многие производители CD-R считает своим долго написать на своём диске или хотя бы на упаковке что-то вроде "Scratch resistant". Но защитный слой служит не только для механической защиты. Если мы сделаем на поверхности отражающего слоя надпись очень мягким фломастером, то слой, может быть, и не повредится. Но кто же знает, какими чернилами заправлен фломастер. А для лазера, в общем-то, всё равно, соскоблили мы отражающий слой или аккуратно растворили в чём-нибудь.

Декоративные слои. Декоративные слои могут не иметь для "живучести" диска никакого значения. По крайней мере, если мы записываем один диск для себя и вообще не делаем на самом диске поясняющих надписей. Однако, если речь идет об изготовлении партии дисков, то покрытие должно позволять нанести на его поверхность рисунок и поясняющие надписи. А то ведь и защитный слой может не помочь. Но эти вопросы относятся скорее к технологии нанесения рисунков и надписей на поверхность компакт-диска