

Путешествие к центру микроэлектроники

Визит на кристалльное производство ПАО «Микрон»

Ю. Ковалевский



ПАО «Микрон» – одно из крупнейших предприятий в области микроэлектроники в России, обладающее современным оборудованием, способным серийно производить чипы с проектными нормами 180 и 90 нм. Основной продукцией, изготавливаемой на кристалльном производстве компании, являются чипы для идентификации – изделия, находящие всё больше областей применения в современном мире, характеризующемся стремлением к цифровизации практически всех аспектов человеческой деятельности, и потому очень востребованные в нашей стране. Загрузка серийного производства очень важна для любого микроэлектронного предприятия, поскольку она является одним из ключевых факторов, позволяющих компании развиваться и осваивать новые технологии. И эту возможность «Микрон» активно использует, реализуя свои планы по увеличению объемов производства, отработке технологий с меньшими значениями проектных норм, а также расширению спектра выпускаемой на своих производственных площадях продукции.

Кристалльное производство предприятия, а также цех, в котором выполняется сборка транспортных карт с чипами производства ПАО «Микрон», нам показала Ирина Александровна Коротова, ведущий инженер-технолог.

Ирина Александровна, какие технологические процессы реализованы на вашем производстве?

На нашем предприятии реализованы серийные процессы с проектными нормами 180 и 90 нм. Кроме того, мы осваиваем процессы с нормой 65 нм – по этой технологии мы уже изготовили опытные образцы. Большая часть нашей продукции выпускается по технологии КМОП с нормой 180 нм – это чипы для различных задач идентификации.

Например, одно из новых наших изделий – электронные идентификационные браслеты для медицинских учреждений. Они вызывают большой интерес, и на данный момент уже внедрены в двух больницах. Идея заключается в том, что пациент надевает такой браслет, с которого считывается идентификационная информация при выполнении всех процедур, обходах и т. п., и по этому идентификатору из базы данных врачи и медсестры сразу получают данные о проведенных процедурах, результатах обследований, назначениях и проч. Это очень удобно – не нужно искать записи и носить из кабинета в кабинет медицинскую карту. В результате снижается вероятность потери информации и допущения связанных с этим ошибок. Кроме того, это помогает в лечении и уходе за пациентами, которые из-за своей болезни не помнят своего имени.

Радиочастотные ID-метки уже получили очень широкое распространение для отслеживания продукции как при оптимизации логистики, так и в целях государственного контроля. Ими снабжается табачная, алкогольная продукция. Одно из новых решений в этой области – система электронных паспортов и меток на древесину. Помимо паспортов с чипами, сопровождающих партии, на каждое дерево устанавливается ID-метка, подделка которой практически невозможна. Без этой метки невозможно продать дерево, поэтому там, где такая система внедрена, существенно снижается объем незаконной вырубки лесов. У нас уже есть пример внедрения данного

подхода – в Иркутской области. Там объем браконьерства в отношении древесины снизился примерно на 53%.

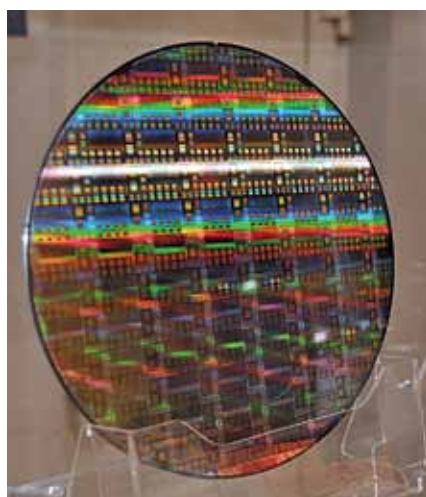
Новой областью применения ID-меток являются также номерные знаки автомобилей. Благодаря установке такой метки номер машины может быть считан по радиоканалу устройствами контроля скорости, нарушения правил парковки и других правил дорожного движения, даже если номер загрязнен или его считывание оптическими средствами затруднено по другим причинам. Это также упрощает реализацию контроля средней скорости движения автотранспортных средств, когда датчики располагаются на определенном расстоянии вдоль трассы и при проезде автомобиля фиксируют его номер и время проезда, после чего расстояние между датчиками делится на время, за которое данный автомобиль проехал данное расстояние, и определяется, нарушает ли он скоростной режим.

Также среди выпускаемых «Микроном» чипов для идентификации – кристаллы, используемые в транспортных картах, картах платежной системы «Мир», биометрических заграничных паспортах, в которых чип находится в специальной жесткой странице документа. Область применения ID-чипов очень широка. Сейчас выпускаются даже визитки с такими кристаллами.

Также среди выпускаемых «Микроном» чипов для идентификации – кристаллы, используемые в транспортных картах, картах платежной системы «Мир», биометрических заграничных паспортах, в которых чип находится в специальной жесткой странице документа. Область применения ID-чипов очень широка. Сейчас выпускаются даже визитки с такими кристаллами.



Ирина Коротова



Пластина диаметром 200 мм с кристаллами для смарт-карт



Изделия для идентификации с чипами производства ПАО «Микрон». В центре – идентификационные браслеты для пациентов медицинских учреждений

Какие еще технологии реализованы у вас, помимо традиционной технологии КМОП?

Мы также можем изготавливать кристаллы по технологии «кремний на изоляторе» (КНИ), причем с проектными нормами и 180, и 90 нм. Есть традиционная КМОП технология, есть КМОП с плавающим затвором, а также LDMOS, TDMOS (высоковольтные trench-транзисторы).

Для каких изделий применяется технология с нормой 90 нм?

В частности, для процессоров «Эльбрус». Стоит заметить, что в этих процессорах у нас применяется медная металлизация, а не алюминиевая, как на кристаллах с проектной нормой 180 нм. Использование меди позволяет достичь более высокого быстродействия, а за счет уменьшения проектной нормы можно изготавливать кристаллы меньшего размера и получать больший выход с одной пластины.

Как много металлических слоев может быть выполнено на кристаллах на вашем производстве?

Для 180 нм стандартное количество слоев металлизации составляет четыре, хотя в определенных случаях мы можем изготовить пять слоев. Для 90 нм по базовой технологии изготавливается семь металлических слоев.

Сколько пластин изготавливается в месяц?

Сейчас в месяц мы производим около 1000 пластин диаметром 200 мм. Но перед нами стоит задача повышения производительности, над которой мы постоянно работаем, и в скором времени планируем достичь уровня 1500 пластин в месяц, а в более дальней перспективе – 3000.



Чистое помещение цеха № 1. Установка на переднем плане – сканирующий электронный микроскоп для измерения минимальных размеров элементов кристаллов

Сколько времени уходит на изготовление кристалла?

От трех до четырех месяцев. За это время пластина проходит около 300 операций. А если говорить о всей цепочке изготовления, допустим, чипа для транспортной карты, то количество операций от монокристалла кремния до готовой карточки составляет около 3000.

Кристаллы на пластинах у нас создаются в одном цехе, который расположен на разных этажах. Он разделен на девять участков: фотолитографии, плазмо-химического травления, химической обработки, диффузии, осаждения, напыления, ионного легирования, химико-механической полировки, метрологии.

Какой класс чистоты этого помещения?

Большая часть участков имеет класс чистоты 6 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1-2002, или 1000 по старому ОСТ 11.14.3302-87. Это означает в частности, что частиц размером 0,5 мкм и более в одном куб. фута воздуха должно быть не более 1000 (в одном м³ – не более 35200). На участке фотолитографии требования более жесткие. Там класс чистоты помещения 5 ИСО, допустимое количество частиц в воздухе для которого в 10 раз меньше, чем для класса 6 ИСО.

Воздух внутри чистых помещений постоянно циркулирует: поступает через потолок и уходит через отверстия в полу. Кроме того, внутри цеха постоянно поддерживается избыточное давление, чтобы в него не попадали частицы из внешней среды. Участок фотолитографии расположен внутри основного чистого помещения, и там давление поддерживается так же на более высоком уровне относительно давления на других участках.

Само собой, нахождение в чистых помещениях требует специальной антистатической и пылеотталкивающей одежды и обуви, головного убора, маски. На руки надеваются резиновые перчатки поверх тканевых.

Соблюдение этих мер очень важно, поскольку любая пылинка может повредить кристалл или привести к некачественному выполнению операции. На одной 200-мм пластине помещаются кристаллы в количестве, достаточном, чтобы удовлетворить суточную потребность в транспортных картах Московского метрополитена. Представьте, если на пластину упадет волос. Это может привести к тому, что будут забракованы кристаллы для карт, которые могли бы продаваться в течение целого часа по всему московскому метро.

Кроме того, для защиты пластин от пыли и других повреждений они загружаются в СМIF-контейнеры, из которых человек их не достает до конца маршрута. При поступлении на определенную операцию контейнер загружается в установку, у него открывается дно, и снизу извлекаются пластины для обработки. По завершении операции пластины возвращаются в контейнер самой установкой, контейнер закрывается, и человек переносит

его на следующую операцию в закрытом виде. Контейнер рассчитан на 25 пластин, но если партия небольшая, он может загружаться не полностью.

На СМIF-контейнерах установлены радиочастотные ID-метки для отслеживания находящихся в них пластин и выбора рецептов, то есть программ обработки. Почти всё наше оборудование загружает рецепты автоматически на основе считанной с метки информации, что позволяет свести к минимуму влияние человеческого фактора при прохождении маршрута. А благодаря программе отслеживания, созданной нашими специалистами, мы можем в любой момент получить информацию о том, на какой операции находится тот или иной СМIF-контейнер.

Обратите внимание, у некоторых СМIF-контейнеров ручки черные, а у некоторых – зеленые. Дело в том, что попадание меди на этап FEOL, на котором происходит формирование транзисторных структур, категорически не допускается. Медь очень легко диффундирует в транзисторную структуру, в результате чего транзисторы начинают вести себя совершенно непредсказуемо. Для того чтобы этого избежать, мы помечаем ручки контейнеров с пластинами, на которых присутствует медь, зеленым цветом. При этом и оборудование, на котором выполняется обработка пластин с открытой медью, не допускается использовать для обработки других пластин.

А на этапе FEOL для процессов 180 нм с алюминиевой металлизацией и 90 нм с медной металлизацией используется одно и то же оборудование? Ведь на этом этапе меди на пластинах нет вне зависимости от процесса.

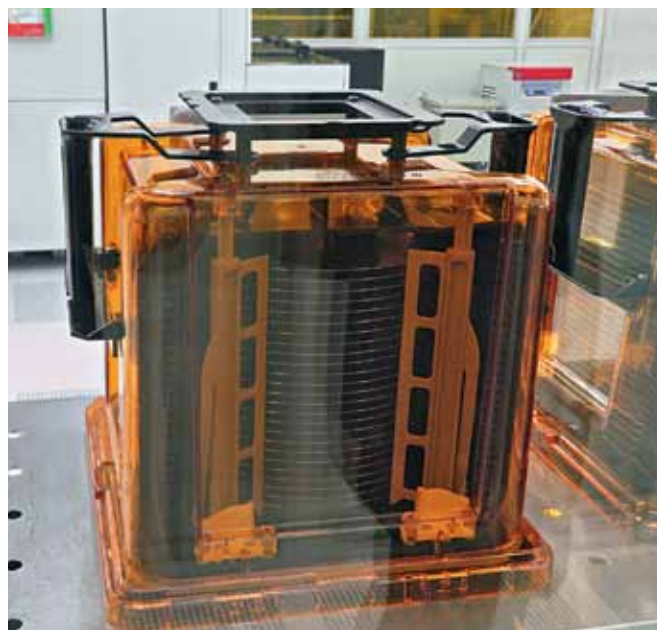
На этом этапе нет ограничений для применения одного и того же оборудования с точки зрения материала металлизации, но некоторые операции различаются в зависимости от проектной нормы. Например, очистку пластин мы выполняем на одной и той же установке – эта операция от величины проектной нормы не зависит, а размер пластин у нас одинаковый для обеих технологий. А, например, сканеры используются разные.

У вас используются сканеры, не степеры?

Да, сканеры. Они обладают большей производительностью, поэтому мы выбрали это решение для всех проектных норм, с которыми мы работаем.

А в остальном как организован процесс фотолитографии?

Это классический процесс. Мы наносим фоторезист, экспонируем



СМIF-контейнер с пластинами

через фотошаблон с 4-кратным уменьшением, выполняем проявление фоторезиста и его задубливание. Кстати об использовании одних и тех же установок для различных операций: оборудование, на котором с помощью ультрафиолета выполняется задубливание фоторезиста, также применяется и ближе к концу маршрута для снятия с пластины заряда, накопленного в процессе ее обработки.

После задубливания фоторезиста выполняется проверка сформированной на пластине маски с помощью установки контроля дефектности, а также другой автоматической установки, которая предназначена для проверки линейных размеров. Кроме того, выполняется контроль совмещения рисунка с предыдущим слоем. Если рисунок не соответствует требованиям, например линейные размеры измеряемых элементов не попадают в поле допуска,



Установки контроля дефектности

можно удалить фоторезист с пластины и выполнить фотолитографию заново, но уже с необходимой коррекцией. Эти контрольные операции выполняются после каждой фотолитографии независимо от того, для какой операции она предназначена.

Когда рисунок фоторезиста готов, можно выполнять последующую операцию – ионную имплантацию, плазмохимическое травление, жидкостное травление. Затем фоторезист удаляется, обычно в кислородной плазме.

Следует отметить, что фотолитография может требовать определенной подготовки поверхности. Например, после выполнения ряда операций образуются неровности поверхности, и перед нанесением следующего слоя фоторезиста она должна быть выровнена. Мы применяем для этого, как, впрочем, и для подготовки к другим операциям, требующим ровной поверхности, установку химико-механической полировки.

Кроме проверки геометрии рисунков и их совмещения, какие контрольные операции выполняются в рамках процесса изготовления кристаллов?

Для каждой операции, связанной с формированием структуры, характерны свои контролируемые параметры. Например, при окислении и напылении пленок контролируется толщина полученного слоя.

Также при создании микросхем очень важно контролировать наличие в пластине примесей различных металлов и других химических элементов. При разработке

техпроцесса устанавливаются допустимые уровни загрязнений, и каждый день технологи должны контролировать, что их установки достаточно чистые и не вносят загрязнения в пластину сверх этих допустимых норм. Для контроля примесей у нас имеется соответствующее оборудование.

Вы сказали, что у вас применяется плазмохимическое травление. Какие структуры вытравливаются таким образом?

Мы используем этот метод для травления по маске металлических слоев, пассивации, затворов и т. д. Пассивация, например, травится в отдельной камере, так как это достаточно «грязный» процесс. Все операции выполняются на разных установках, поскольку при травлении различных слоев используется различный набор газов.

К слову о технологических газах. Наверняка, некоторые из них небезвредны. Насколько это безопасно для персонала?

Подача газов и жидких химреактивов в оборудование у нас осуществляется по системе «трубка в трубке», то есть при повреждении трубопровода газ или жидкость попадают не в производственное помещение, а во внешнюю трубку. При этом давление в системе постоянно контролируется. Таким образом можно устранить повреждение до того, как данный материал попадет в атмосферу производства или в окружающую среду.

Когда пластина готова, какие следующие действия?

Снова контроль – уже электрических параметров. Сначала выполняется измерение вольт-амперных



Контроль линейных размеров элементов рисунка



На переднем плане – установка задубливания фоторезиста и снятия заряда с пластин; далее – участок плазмохимического травления



Участок химической обработки, на котором выполняется отмывка пластин, химическое травление и другие операции

характеристик (ВАХ) транзисторов, и если пластина проходит этот этап проверки, она передается дальше – на функциональный контроль, где проверяется работоспособность каждого чипа.

Далее судьба пластины зависит от конкретного заказчика, проекта, изделия, для которого она выпускается.

Если говорить о чипах для транспортных карт – продукте с наибольшей серийностью среди наших изделий, то на следующем этапе пластина поступает в цех № 3, где на контактных площадках кристаллов выполняются столбиковые выводы – так называемые бампы, которые служат для обеспечения электрического соединения кристалла с антенной. Бампы изготавливаются путем приваривания к контактным площадкам золотой проволоки.

После бампирования пластина утоняется, закрепляется на сетчатом носителе и разделяется на отдельные кристаллы. Утонение пластины в данном случае необходимо



Бампирование пластин

для того, чтобы, будучи вклеенным в карту, кристалл не образовывал на ней выпуклых областей.

Как обеспечивается контакт между столбиковыми выводами и антенной?

С помощью проводящего клея. Весь процесс монтажа кристаллов на антенны выполняется в одной линии. В оборудование подается лента с антеннами, на места будущего контакта наносится клей, кристалл захватывается с носителя и устанавливается на ленту. После этого выполняется полимеризация клея – и устройство готово. Осталось только вклеить его в карточку.

Это выполняется на отдельной установке, которая клеивает антенны с чипами между верхним и нижним слоями карты, подающимися также в виде ленты. При этом выполняется резка лент, в результате чего на выходе получают уже отдельные карты.

Далее на карту наносится маркировка – ее уникальный номер, который также записывается в память чипа. Теперь остается только проверить работоспособность



Установка разделения пластин на кристаллы



Линии монтажа кристаллов на ленты с антеннами

карт и упаковать их. После этого они готовы для отправки заказчику.

При входе в первый цех одна стена украшена картой полушарий земного шара, на которой установлены значки с логотипами различных компаний. Что это за компании?

Это те компании, с которыми мы сотрудничаем, и те, которые помогали нам в создании этого производства, поставляли оборудование, оказывали содействие в налаживании процессов.

Всё оборудование для этого производства закупалось новым, напрямую у компаний-производителей.

Применяются ли на вашем производстве отечественные установки, оснастка, материалы?

Что касается оборудования – оно практически всё импортное. Но сейчас мы всё больше используем отечественные технологические материалы, в частности газы для плазмохимического травления, а также другие химреактивы. В отношении оборудования, пока законченных российских решений мы почти не видим, однако отдельные элементы и узлы в России производятся.



Карта полушарий у цеха № 1 с обозначением расположения компаний-партнеров



Установка вклейки антенн с кристаллами в карты

В целом, можно сказать, что движение в сторону импортозамещения в области продукции для микроэлектроники заметно: становится доступно всё больше позиций отечественного производства.

Мы сейчас видели производство кристаллов для транспортных карт. Это относительно большие серии. Оказываете ли вы услуги контрактного производства – фаундри – для заказчиков с небольшими объемами?

Да, помимо основного серийного производства, мы изготавливаем небольшие серии, а также единичные изделия, которые нам заказывают различные компании при выполнении НИОКР. Эти работы составляют заметную долю нашего производства: под них мы изготавливаем порядка 50 пластин в месяц. И их количество продолжает расти. К нам могут обращаться компании с разным уровнем технологической подготовки: мы готовы предоставить PDK для того, чтобы заказчики сами разработали топологию своих проектов для последующего производства у нас, но также у нас есть собственный дизайн-центр, готовый выполнить эту работу или оказать необходимую помощь.

Также у нас активно развивается взаимодействие с университетами. Осенью мы планируем запустить «Университетский шаттл» – дать возможность студентам реализовать свои идеи на пластине, которая будет изготовлена у нас.

Спасибо за интересный рассказ.