

УСТАНОВКА ДЛЯ МАГНЕТРОННОГО НАНЕСЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ

При металлизации гибридных ИС желательно наносить чередующиеся слои различных металлов на подложку за один технологический цикл. Это позволяет значительно улучшить межслойную адгезию и исключить расслоение структуры при дальнейших операциях осаждения пленок в вакууме, поскольку при сравнительно длительном перерыве между ними материал верхнего слоя конденсируется не на чистую поверхность нижней пленки, а на поверхность, покрытую слоем окисла. При производстве современных полупроводниковых приборов для проведения тонкой фотолитографии и получения сложных пространственных структур также необходимо наносить чередующиеся слои различных диэлектриков — как правило, оксида кремния и его нитрида. Получать такие слои желательно в одном вакуумном цикле, так как это не только увеличивает производительность процесса, но и снижает плотность дефектов в слоях. Эти задачи могут быть успешно решены с помощью модернизированной вакуумной установки "Каролина D-10".

Разрабатываемые ООО "ЭСТО-Вакуум" установки магнетронного напыления предназначены для выполнения различных технологических задач, но характеризуются общим конструктивным решением и максимальной унификацией узлов и деталей. Модифицированная для нанесения чередующихся пленок за один цикл вакуумная установка УВН-71ПЗ содержит традиционный вакуумный пост и стойку управления. В вакуумный пост входят рабочая камера и система откачки, содержащая механический и диффузионный насосы. Для согласования эффективной скорости откачки камеры диффузионным насосом типа Н-2Т, имеющим азотную ловушку на входе, с производительностью механического насоса при больших расходах газа предназначен двухступенчатый агрегат типа АРР-50, вынесенный за пределы установки.

РАБОЧАЯ КАМЕРА УСТАНОВКИ

Рабочая камера (рис. 1а,б) содержит весь джентльменский набор устройств, необходимых для решения поставленных задач. В зависимости от выбранной комплектации это — от одного до трех протяженных магнетронных источников, ионный источник для очистки подложек, барабан с держателями подложек и двухсекционный нагреватель подложек. Рассмотрим эти узлы подробнее.



Е.Берлин,
Л.Сейдман

На внутренней поверхности вертикального барабана диаметром 480 мм в съемных кассетах высотой 450 мм размещается до 36 полупроводниковых пластин диаметром 100 мм или 95 ситалловых подложек размером 48x60 мм. На барабане установлен также держатель датчика сопротивления напыляемой пленки (свидетеля), контакты которого через коллектор выведены наружу. Привод вращения барабана, установленный сверху на колпаке рабочей камеры, обеспечивает контроль скорости вращения (10–40 об/мин) барабана с подложками. Он управляет также положением заслонки (открыта или закрыта) за счет реверса направления вращения барабана. Назначение заслонки — тренировка мишени любого магнетрона перед каждым напылением.

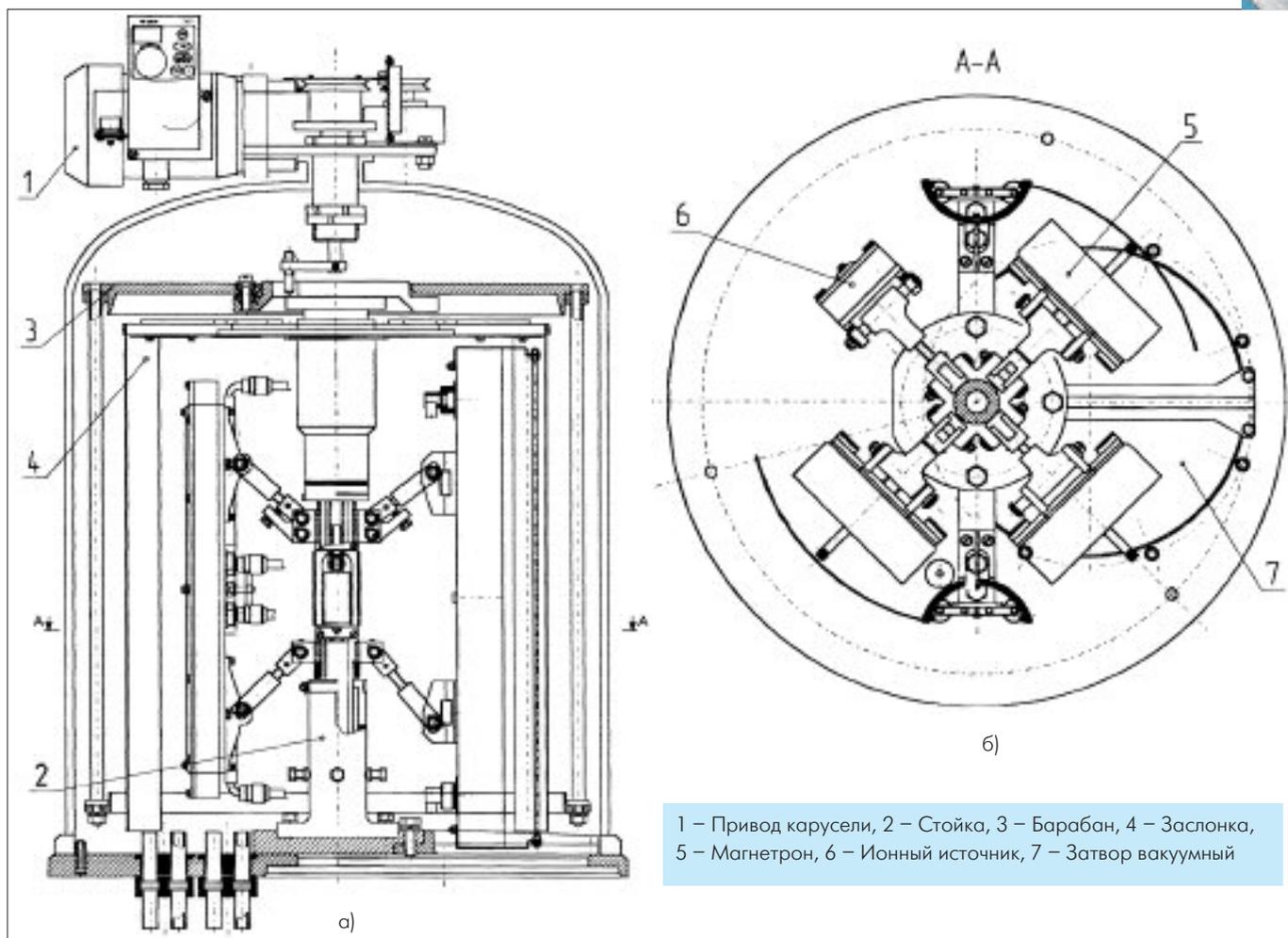
Для нанесения за один цикл нескольких слоев различных материалов внутри барабана вертикально располагаются протяженные магнетроны с мишенями длиной 440 мм (рис.2). Мишени прижимаются к водоохлаждаемому основанию прижимной рамкой, вдоль оси над ними расположен анод магнетрона, который так же, как и барабан с подложками, изолирован от корпуса установки, благодаря чему на него можно подавать положительное смещение, а на подложки — отрицательное. Весь катодный узел окружен защитным экраном.

Кроме магнетронов в барабане находится протяженный ионный источник типа "Радикал". С его помощью проводится предварительная очистка подложек пучком ионов кислорода (или любого другого рабочего газа) при токе до 1 А (эта операция обычно занимает 3 мин). Подложки перед нанесением пленок нагреваются излучением двух нагревателей до температуры 300°C (рис.3). Нагреватели представляют собой два отражателя, на которых смонтированы протяженные ТЭНы мощностью 2,5 кВт каждый. Температура контролируется с помощью платинового резистивного датчика, закрепленного на барабане установки.

Газы (аргон, азот и кислород) подаются в камеру через газораспределительную систему ионного источника по магистралям из нержавеющей стали. Поток газов автоматически независимо контролируется трехканальными регуляторами их расхода, выполненными на базе РРГ-9 с электромагнитными запорными клапанами. Диапазон регулировки расхода рабочего газа — 0–0,1 Вт.

СТОЙКА ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКИ

Эта стойка содержит все системы управления установкой и располагается вплотную к вакуумному посту. Для питания магнетрона используется блок питания постоянного тока типа ИВЕ-145 фирмы Consent, содержащий бестрансформаторный преобразователь тока промышленной частоты в ток с частотой 30 кГц. В блок входит схема стабилизации тока или напряжения разряда, устройства дугогашения и защиты от короткого замыкания, а также схема защиты



1 – Привод карусели, 2 – Стойка, 3 – Барабан, 4 – Заслонка, 5 – Магнетрон, 6 – Ионный источник, 7 – Затвор вакуумный

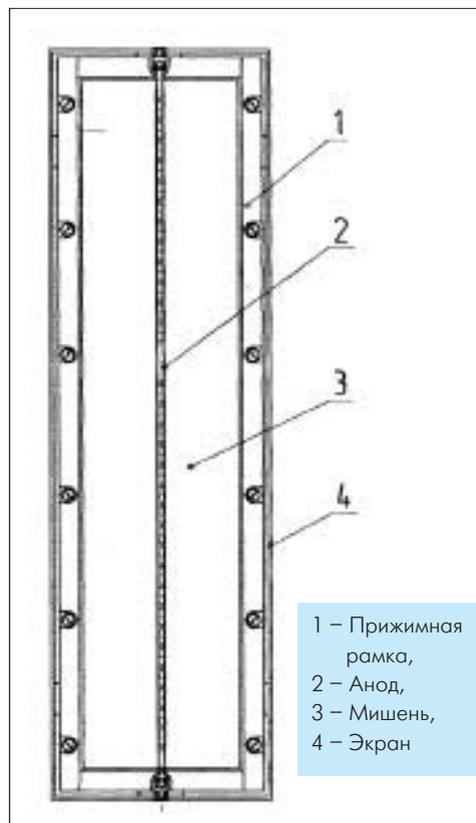
Рис.1. Рабочая камера установки: вид спереди (а) и сверху (б)

от перекоса фаз. Максимальная мощность блока питания магнетрона составляет 6 кВт, ток – до 10 А, его выходное напряжение гарантирует возможность работы с любым типом мишени. Такой блок питания незаменим при нанесении диэлектрических слоев методом реактивного магнетронного распыления. В литературе магнетрон с таким блоком питания называется импульсным .

По выбору оператора магнетрон может заканчивать работу в автоматическом режиме либо по истечении заданного времени напыления, либо после напыления на свидетель слоя (только первого) заданного сопротивления. Реле времени напыления, датчик и цифровой измеритель сопротивления установлены в блоке управления процессом.

Датчик сопротивления напыляемой пленки во время вращения барабана, при каждом его обороте, попадает в зону плазмы работающего магнетрона, что вызывает временное искажение значения измеряемого сопротивления. Чтобы исключить такое искажение показаний свидетеля, на приводе вращения барабана сверху рабочей камеры устанавливается датчик положения свидетеля относительно магнетрона (датчик стробирования). Схема измерения сопротивления свидетеля по команде датчика положения считывает информацию только тогда, когда свидетель находится за пределами зоны плазмы магнетрона. Измеренное сопротивление запоминается и воспроизводится цифровым индикатором. При каждом обороте барабана показания измерителя сопротивления обновляются.

В блоке питания и управления трехканальной прецизионной системой газонапуска типа РРГ-9-2,5 предусмотрена цифровая индикация заданных и фактических значений расхода газов. При этом значения расхода рабочего газа по каждому каналу задаются отдельно и поддерживаются постоянными независимо друг от друга с точностью $\pm 1\%$ от максимального значения расхода дозатора. Показания расходомера, пропорциональные потоку газа, выражаются в вольтах. Для получения значений потока газов, выраженных в ваттах, показания расходомера необходимо умножить на соответствующий градуировочный коэффициент: 0,0175 для аргона, 0,025 для кислорода и азота.



1 – Прижимная рамка, 2 – Анод, 3 – Мишень, 4 – Экран

Рис.2. Протяженные магнетроны

Блок питания привода барабана позволяет плавно регулировать скорость вращения подложек в диапазоне 10–40 об/мин. Блок управления нагревом обеспечивает цифровой контроль заданного и фактического значений температуры (в диапазоне 50–300°C с точностью ±5°C), плавную подачу напряжения на нагреватель, стабилизацию температуры изделий и блокировку системы нагрева при отсутствии вакуума или охлаждающей воды.

Производительность установки составляет не менее двух процессов за смену (до 12 – в зависимости от температуры процесса и параметров напыляемых пленок). Мощность, потребляемая установкой от питающей сети, не превышает 15 кВт.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

РАССМОТРЕННЫХ МАГнетРОННЫХ

УСТАНОВОК

Установка магнетронного напыления использовалась в производстве гибридных ИС для нанесения в одном процессе на диэлектрические подложки размером 60x48 мм и толщиной 0,5–2 мм резистивных материалов типа РС-5406 или РС-3710 [1] и защитного слоя титана. Нанесение слоя с поверхностным сопротивлением 20–1000 Ом/кв занимало 2–25 мин при токе разряда 0,8–2 А. Разброс значений удельного сопротивления пленок партии обычно не превышал ±5%. На установке также проводили металлизацию ГИС, для чего наносили чередующиеся слои различных металлов, например ванадия, меди и хрома. Скорость нанесения меди составляла примерно 8 мкм/ч при токе разряда 12 А.

Установка себя хорошо показала и в более сложных процессах, таких как реактивное магнетронное нанесение в одном вакуумном цикле пленок оксида кремния и его нитрида, в которых кремниевая мишень распыляется в смеси аргона и реактивного газа – азота или кислорода [2,3]. Метод позволяет наносить на движущиеся подложки слои этих химических соединений с достаточно большой скоростью: 1–2 мкм/ч.

При проведении данного процесса на магнетрон устанавливалась мишень из монокристаллического кремния марки КЭФ 0,1. Она прижималась к водоохлаждаемому основанию. Режимы, необходимые для получения стехиометрических пленок нитрида крем-

Режимы процессов получения стехиометрических пленок Si₃N₄ и SiO₂

Соединение	Напряжение разряда, В	Ток разряда в смеси газов, А	Поток реактивного газа, Вт	Скорость нанесения, мкм/ч
Нитрид	500	6	0,025	1,26
Оксид	520	5	0,037	1,35

ния и его оксида, приведены в таблице.

В этих режимах пленки наносились на полупроводниковые пластины, содержащие структуры арсенидгаллиевых СВЧ-полевых транзисторов. С помощью технологии самосовмещения электрода затвора с канавкой и комбинации диэлектрических слоев формировали электрод затвора субмикронного размера, который располагался точно в середине канавки шириной 1,5–2 мкм. Таким образом, установка показала свою технологическую универсальность: на ней были получены слои металлов, резистивных сплавов и диэ-

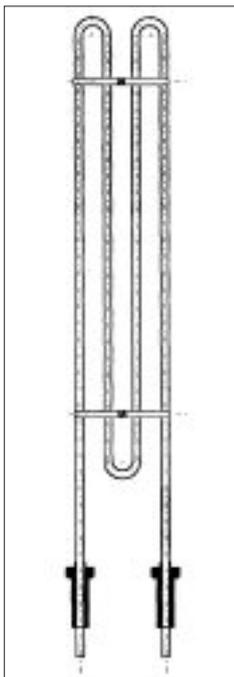


Рис.3. Нагреватель

лектриков, а также их комбинаций.

Рассмотренная вакуумная напылительная установка, предназначенная для нанесения слоев металлов, резистивных сплавов и диэлектриков, а также их многослойных комбинаций выпускается серийно. Ее комплектация зависит от требований заказчика. Изготовленные к настоящему времени установки успешно эксплуатируются на многих предприятиях электронной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратов Н.М. Резистивные материалы. – Обзоры по электронной технике. Сер. Материалы, 1979, вып.4, с.36.
2. Сейдман Л.А. Способы управления процессом реактивного магнетронного распыления с помощью вольт-амперных характеристик разряда. – Труды постоянно действующего семинара "Электровакuumная техника и технология"/ Под ред. А.В.Горина.– М.: 1999. – 168с.
3. Берлин Е.В., Воробьев А.Н., Сейдман Л.А. Получение чередующихся слоев диэлектриков на основе кремния. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, №5, с.50–52.

Органические материалы наступают. Теперь на схемы памяти

Как сообщают исследователи Infineon Technologies, органические материалы в скором будущем обеспечат кратчайший путь к получению плотных энергонезависимых микросхем памяти, в первую очередь сегнетоэлектрических и магнитных ОЗУ. Разработчики исследуют класс органических материалов, переключающих свое состояние при прохождении через них тока. Любой материал, используемый для построения энергонезависимой памяти, должен удовлетворять ряду строгих требований. Главное из них – в том, чтобы каждый кандидат "вписывался" в стандартный КМОП-процесс, т.е. выдерживал температуру до 350°C. Основное достоинство органических материалов – простота обработки. По существу, их слои можно наносить почти на любую поверхность. Благодаря этому органические ячейки памяти могут быть сформированы после завершения обработки кремния, что существенно упрощает процесс изготовления ОЗУ.

Следующее требование к органическому материалу – способность выдерживать до 10⁹ операций записи/стирания и сохранять данные в течение 10 лет. В этом отношении неорганические материалы имеют несомненное преимущество, поскольку они физически более твердые, чем органические. Первые испытания нового материала фирмы Infineon показали, что после 10⁶ операций записи/стирания в материале наблюдаются лишь незначительные изменения параметров.

Серьезная проблема, возникающая при использовании органических материалов, – совместимость с достаточно химически активными металлическими электродами. Исследователи Infineon, очевидно, справились с этой проблемой, разработав класс органических материалов, пригодных для изготовления многослойной матрицы памяти с высокой плотностью упаковки элементов, наносимой поверх стандартного КМОП-чипа. Материалы совместимы как с алюминиевыми, так и медными проводниками. Процесс начинается с осаждения матрицы проводников на поверхность кристалла и последующего нанесения тонкого слоя органического материала методом центрифугирования. Затем формируется вторая, перпендикулярная первой, матрица металлических проводников, после чего органический материал между проводниками вытравливается, приводя к образованию множества ячеек памяти.



**Генеральный директор
Разумов Виталий Борисович**

В ноябре исполняется десять лет ЗАО "Электронсервис". Сумев привлечь высококвалифицированных специалистов и проводя продуманную стратегию развития, предприятие сумело с успехом пройти эти десять, совсем не простых, лет и вступить во второе десятилетие с новыми достижениями.

ЗАО "Электронсервис" было создано в 1993 году на базе наладочной орга-

низации Министерства электронной промышленности. Это были чрезвычайно сложные годы для наукоемких отраслей оборонной промышленности страны. Если до перестройки все министерства Советского Союза, входящие в оборонный комплекс, имели наладочные организации, и в каждой из них работало более 100 наладчиков оборудования, то в 1993 году таких организаций либо уже не было совсем, либо они существовали формально. В период своего становления ЗАО не могло привлечь к наладке сложного технологического оборудования более десяти высококвалифицированных специалистов профессионального уровня: предприятия высокой технологии в стране свертывали производство или вовсе закрывались, прекратилось и обновление парка оборудования.

Несмотря на столь сложную ситуацию и соблазны "удариться" в коммерческую деятельность, которая тогда приносила быстрые доходы, ЗАО поставило перед собой следующие задачи:

- сформировать на первом этапе небольшой, но мобильный коллектив инженеров-наладчиков сложного электронного оборудования;
- специализироваться только на оборудовании по производству изделий микроэлектроники (электронных компонентов и гибридных микросборок), его продаже, наладке и модернизации;
- работать на рынке вторичного оборудования: восстановление, ремонт, разборка с целью продажи запасных частей.

Даже при глубоком спаде промышленности услуги "Электронсервиса" оказались востребованными, и объемы работ постепенно начали расти. Успеху способствовало полное отсутствие конкуренции в этой области со стороны специализированных наладочных организаций. Постепенно началось возвращение профессиональных наладчиков из сферы торговли, офисного и банковского обслуживания к занятию своим любимым делом. Многим отечественным предприятиям оборонных отраслей промышленности во второй половине 90-х годов помогли экспортные заказы – прежде всего Китая. Рост экспорта потребовал развития собственного производства, а следовательно, потребность в услугах ЗАО "Электронсервис" стала расти. Кроме того, многие предприятия продавали в КНР некоторые технологии (а соответственно и оборудование). И вот здесь ЗАО оказалось поистине незаменимым. Благодаря наработанным связям с поставщиками оборудования, привлечению специалистов в области вакуумной техники, фотолитографии, лазерной техники, ионного легирования, сборки и т.п., предприятия-экспортеры технологий уже не могли обойтись без услуг "Элек-



**Главный инженер Знатов
Анатолий Александрович**

тронсервиса". С помощью его специалистов в КНР были введены в строй целые микроэлектронные производства: ЦНИИ "Электрон" и НИИ "Авангард" в Чунцине, НИИДАР в Нанкине, НИИ Теплоприбор в Харбине, выполнялось и большое число разовых поставок.

Экспортные поставки требовали разработки нового современного оборудования. Но традиционные изготовители уже не могли обеспечить поставку всего его полного спектра. Перед ЗАО "Электронсервис" встала задача поиска новых изготовителей и даже организации своего производства. В частности, возникла проблема выпуска лазерных станков для резки и сварки, а также вакуумного оборудования специального назначения. По лазерной технике велись переговоры со специалистами ЭНИМС, НИИ "Полюс" (Москва) и КБТМ (Минск). В результате к работам была привлечена небольшая группа специалистов, возглавляемая Л.Г.Сапрыкиным (НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ").

В области вакуумной техники началось сотрудничество с коллективом, возглавляемым Е.В.Берлиным. За счет глубокой модернизации оборудования резки и сварки, а также модернизации систем управления "Орион" у ЗАО "Электронсервис" появились и собственные разработки. Возникла необходимость организации собственного производства – небольшого сборочного машиностроительного завода. Большой объем работ с ОАО "Ангстрем" позволил "Электронсервису" получить по взаимозачету производственные площади и учредить в октябре 2003 года ЗАО "Научно-производственное предприятие "Электронное Специальное Технологическое Оборудование" (НПП "ЭСТО"), основные работы которого сосредоточены в области вакуумной и лазерной техники, а также сборочного производства*.

Продолжает развиваться и совершенствоваться основная деятельность организации: поставка и наладка оборудования. ЗАО "Электронсервис" тесно сотрудничает с такими изготовителями оборудования, как НИИ "Изотерм" (Брянск), КБ "Деймос" (Калининград), КБТМ (Минск), а также с небольшими коллективами специалистов бывших машиностроительных институтов и заводов Москвы, Н. Новгорода, Белоруссии. Создано представительство в Санкт-Петербурге.

В заключение хочется отметить, что всех успехов удалось достичь благодаря сплочению вокруг ЗАО "Электронсервис" высококвалифицированных инженеров-наладчиков, потому что "железо" без человека – ничто, и заказчики понимают это (или начали понимать и востребовать услуги). Хочется, чтобы девиз: "Инженеры для Инженеров" активнее внедрялся в производство. "Электронсервис" неуклонно следует ему и своей десятилетней деятельностью подтверждает это.

Поздравляем ЗАО "Электронсервис" с круглой датой и желаем дальнейших успехов в оснащении отечественной промышленности высокой технологии столь необходимым оборудованием, без которого немислимо развитие и укрепление мощи нашего государства.

*О последних разработках современного оборудования магнетронного нанесения покрытий см. опубликованную в этом номере статью Е.Берлина и Л.Сейдмана, с.58.