**Применение крионасосов в производстве плоских дисплеев и полупроводников**

***1О.Н. Подчерняев, 1Б.В. Юдин, 2,3А.В. Андросов, 2В.Н. Кеменов, 2,3С.Б. Нестеров***

***1Москва, РВО-Криосистемы, Нагорный проезд, 7***

***2Москва, ФГУП «НИИВТ им. С.А. Векшинского», Нагорный проезд, 7***

***3Москва, Московский энергетический институт (технический университет), Красноказарменная, 14***

Введение

Рынок дисплеев на плоских панелях является одним из наиболее быстро растущих в настоящее время. В 2002 г. стоимость продукции дисплеев на плоских панелях составила более 20 миллиардов долларов. До сих пор основной рост рынка обеспечивался за счет дисплеев для ноутбуков и настольных мониторов. Расширение их рынка происходит также вследствие вытеснения традиционных *CRT*-дисплеев дисплеями на плоских панелях (ДПП). Цены на продукцию ДПП постоянно снижаются, что обеспечивает неуклонное расширение рынка. Снижение цен происходит вследствие конкуренции, увеличения мощности и совершенствования производства, а также за счет повышения эффективности и совершенствования конструкции .

Существует несколько ключевых технологий ДПП. Сейчас на рынке доминируют дисплеи на жидких кристаллах – ДЖК. В настоящее время они занимают 90% всего рынка ДПП. Около 65% ДЖК – это цветные дисплеи с активной матрицей – ЦДАМ. Эта технология использует тонкие пленочные транзисторы – ТПТ. Следовательно, акроним выглядит как ТПТ-ДЖК или ТПТ-ЦДАМ. Дисплеи ТПТ-ЦДАМ используются для ноутбуков и панельных компьютерных мониторов (современные лидеры на рынке). Возникают другие технологии ДПП, которые завоюют рынок в будущем. Сюда относятся плазменные дисплейные панели (ПДП) и ДПП, основанные на явлении органической электролюминесценции, т.е. технологии органических светоизлучающих диодов (ОСД). В будущем рынок займут большие ДПП для телевизоров с тонкими экранами и дисплейные мониторы. Малые дисплеи для автомобилей, сотовых телефонов, ПДА, мониторов цифровых и видеокамер, и т.д. составляют другой большой рынок с серьезными перспективами роста. Основными ДПП технологиями являются следующие: ДЖК – дисплеи на жидких кристаллах;ПДП – плазменные дисплейные панели;ОСДД – органические светоизлучающие диодные дисплеи;ЭЛ – электролюминесцентные дисплеи (неорганические);ДПЭ – дисплеи с полевой эмиссией;Специальные – для включения в проекционные дисплеи;Цифровые микрозеркальные (ЦМЗ) микродисплеи.

ДПП представляют собой слои тонких и толстых пленок (иногда фигурных, иногда нет), каждый из которых имеет особые электрические или оптические свойства. Многие, если не большинство, этих тонких пленок сформированы с помощью процессов осаждения в вакууме. Субстратами для слоев пленок обычно являются стеклянные панели. Одной из проблем проблем при создании ДПП является водяной пар и его удаление из технологической камеры.

Время на откачку в диапазоне высокого вакуума занимает большую часть цикла откачки. Молекулы воды вследствие их полярной природы адсорбируются на камерах и поверхностях подложек [1-4]. На начальной (форвакуумной) стадии откачки сухие газы удаляются из свободного пространства камеры. По мере продолжения откачки водяной пар начинает дегазироваться из камеры и с поверхностей подложки. Ниже 10-1 торр доля водяного пара доминирует, часто превышая 90% от общего количества газа. Таким образом, общее время откачки прямо пропорционально скорости откачки водяного пара. Насосы по откачке водяного пара фирмы *Polycold* с криоповерхностями внутри камеры являются уникальными, поскольку обеспечивают очень высокие скорости откачки, практически недоступные другим средствам. При производстве ПДП время откачки может составлять значительную часть общего производственного цикла. Сокращение времени откачки при применении насосов Polycold приводит к существенному росту производства ПДП.

Влияние паров воды на процесс формирования покрытий

Присутствие остатков воды в технологической камере крайне вредно сказывается на свойствах тонких пленок. Пары воды могут отрицательно воздействовать на различные электрические, оптические, химические и физические свойства тонких пленок, а также внести нежелательные частицы, что в свою очередь может снизить выход конечного продукта. Пары воды могут негативно повлиять на структуру и морфологию пленок. Чем меньше скорость образования пленок, тем ниже должно быть парциальное давление остаточного водяного пара, с тем, чтобы уменьшить эти негативные эффекты. Обычная толщина тонких пленок при производстве ПДП варьируется от нескольких сот до нескольких тысяч ангстремов. В этом случае скорость отложения низкая и требование к вакууму в рабочих камерах составляет 10-7 торр или ниже. В процессе осаждения пленки желательно поддерживать фоновое остаточное парциальное давление водяного пара на низком уровне.

Чтобы адсорбцию водяного пара можно было контролировать в ходе производства рабочие камеры изолируют от атмосферы. Однако контакт с атмосферой все равно происходит при замене подложек, мишеней или других работах. Время восстановления вакуума после смены мишеней обычно занимает несколько часов, а возможно и дней. При использовании крионасосов *Polycold* с крио-змеевиком внутри камеры это время часто уменьшается на 90%. Производственное время при изготовлении ПДП стоит крайне дорого. С применением крионасосов *Polycold* сокращение времени восстановления вакуума значительно увеличивает производительность установки напыления и позволяет получить более быструю прибыль.

Водяной пар продолжает дегазироваться с поверхностей внутренней камеры во время всего процесса. Необходима высокая скорость откачки водяного пара для удержания его фонового парциального давления на минимально возможном уровне. В процессе напыления рабочие газы (обычно аргон) поступают в камеру , при рабочем давлении, как правило, от 0,5 до нескольких миллиторр. Насосы *Polycold* с криоповерхностями внутри камеры селективно откачивают только водяные пары, не влияя на установленный расход и давление рабочего газа. Другие высоковакуумные насосы не могут селективно откачивать водяной пар. Поскольку рабочее давление в камере поддерживается на уровне нескольких миллиторр, парциальное давление водяного пара может подниматься до нежелательно высокого уровня (при отсутствии насоса *Polycold*), что ведет к ухудшению свойств тонких пленок.

Вследствие вышеизложенных причин необходимо уменьшить присутствие водяного пара в рабочей зоне. Водяной пар входит в систему в виде потока через затвор при контакте с атмосферой. Этот пар быстро адсорбируется на внутренних поверхностях камеры. Большие количества водяного пара также имеются в виде адсорбированных монослоев на мишенях и подложках. Когда производственная система откачана, начинается процесс дегазации (десорбции) водяного пара. При переходе подложки, поток водяного пара идет в переходную и/или буферную камеры. Он быстро адсорбируется на поверхностях камеры (чтобы затем дегазироваться). Подложки и крепеж продолжают дегазировать водяной пар и в переходной камере. Весь процесс повторяется, когда переходная подложка поступает в рабочую камеру (стадии нагрева подложек можно использовать для более быстрой дегазации подложек, но большая часть этого водяного пара быстро адсорбируется на поверхностях камеры).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ крионасосов *Polycold* В рулонных системах напыления

Системы рулонного типа находятся в стадии разработки для массового производства гибких ОСДД на пластмассовых пленочных подложках. Они, вероятно, будут использоваться для большинства процессов производства гибких ОСДД. Сюда относятся комплексы задних панелей из сверхнизкотемпературного полисиликона (СНТПС), осаждение органических слоев и инкапсуляция.

Схематичный пример рулонной системы покрытия для продукции ТПТ-СНТПС для гибких цветных ОСДД с активной матрицей показан на рис.1. Криогенные змеевики расположены в нижней части камеры. В настоящее время системы *Polycold* уже предусмотрены и используются в проектируемых системах рулонного покрытия для гибких ОСДД.

Нагрузка водяного пара в производстве гибких ОСДД будет высокой вследствие большой площади поверхности и гигроскопической природы пластиковых подложек. В вакууме пластиковая подложка будет дегазировать большое количество водяного пара.

Криозмеевики *Polycold* следует размещать и в рабочих камерах, и в зонах размотки. Типичная рулонная установка имеет много зон осаждения (возможно с промежуточными буферными камерами). Криозмеевики следует располагать во всех зонах по возможности ближе к подложке. Откачка зоны напыления является главным преимуществом. Также важно откачать водяной пар из зон размотки. Установки *Polycold* являются незаменимыми при разработке и коммерциализации процессов производства гибких ОСДД.



Рис. 1. Рулонная система

ПРИМЕНЕНИЕ крионасосов *Polycold* В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

В полупроводниковой промышленности существует ряд специализированных областей, где применяются системы напыления тонких пленок и процессы, которые сильно выигрывают от использования высокоскоростных систем откачки водяного пара *Polycold*. Эти области – оптоэлектроника, сложные полупроводниковые приборы, устройства *SAW*, дискретные компоненты и другие. Общим для всех этих специализированных сегментов является то, что материалы обрабатываются не по отдельности, а с помощью кластерной машины, принятой в передовых областях полупроводниковой промышленности более 10 лет назад. Металлизация и другие способы создания тонких пленок осуществляются в больших рабочих камерах, где имеются загрузочные и переходные камеры. Водяной пар – это насущная проблема вследствие непосредственного контакта камеры с атмосферой при загрузке, а также из-за размера рабочих камер и связанных с этим общих площадях поверхности подложки и крепежа, которые создают еще большую нагрузку дегазации водяного пара. Условия вакуума во многих этих процессах – это как минимум режим 10-7 торр, а время откачки в камерах часто длится от 30 минут до нескольких часов. Использование насосов по откачке водяного пара *Polycold* существенно повышает производительность таких систем за счет сокращения времени откачки.

Специфическими областями полупроводниковых технологий, использующими установки *Polycold*, являются следующие:

* новейшие полупроводниковые программы UBM;
* оптоэлектронные устройства;
* III-V встроенные контуры;
* устройства поверхностных акустических волн;
* мощные полупроводниковые и дискретные устройства.

Изготовление специализированных полупроводников отличается тем, что требуется много стадий для создания металлизированных и других тонких пленок. Это объясняется целым рядом факторов, в том числе меньшим масштабом производства, разнообразием размеров плат, большим разнообразием специфических этапов и особенностей производства, и т.д.

Эти системы имеют гораздо большие нагрузки по водяному пару из-за следующих факторов:

* значительная площадь поверхности множественных подложек;
* большая площадь внутренних поверхностей камеры, экранов и крепежа;
* частый и продолжительный контакт рабочей камеры с атмосферой в ходе долгих процессов нагрузки и разгрузки;
* во многих случаях использование процессов с применением гигроскопичного фотосопротивления;
* большие количества слоев напыления на внутренней поверхности камер и крепеже, которые крайне гигроскопичны, что ведет к высоким нагрузкам дегазации водяного пара.

При этом скорость откачки крионасосов и/или турбонасосов весьма ограничена. Турбонасосы, применяемые в этих системах, обычно имеют скорость не более нескольких сотен л/с. Крионасосы до 16" применяются в некоторых системах, но вследствие ограничений проводимости, налагаемых входными клапанами, жалюзи, внутрикамерными экранами и т.д., их общая скорость откачки обычно составляет не более двух тысяч литров в секунду. Поскольку водяной пар составляет 90% от всей газовой нагрузки при давлениях ниже 10-1 и 10-2 торр, скорость откачки должна быть в десятки раз больше, чем имеющаяся скорость для сухого газа. При скорости откачки сухого газа крионасосами в несколько тысяч литров в секунду, идеальная скорость откачки водяного пара в большинстве систем составляет от 20000 до 30000 литров в секунду. Это может быть достигнуто только при использовании установок *Polycold* с правильно спроектированным криозмеевиком внутри камеры.

Время откачки многих вакуумных производственных камер часто составляет от 1 до 2 часов при откачке до 10-7 торр. Установка системы *Polycold* со встоенным внутрикамерным криозмеевиком часто сокращает это время на 75% (до 15 минут). Время напыления довольно мало в большинстве процессов металлизации, поэтому время откачки составляет большую долю всего процесса цикла, а значит и производительности системы. Общий эффект от внедрения систем *Polycold* – это рост производительности и сокращение себестоимости производства. Более низкие парциальные давления водяного пара также улучшают качество тонких пленок и увеличивают их выход.

В других процессах применение крионасосов *Polycold* (помимо сокращения времени откачки) предотвращает миграцию водяного пара в камеру напыления, где возможна его реакция с рабочими газами.

В целом, системы откачки водяного пара *Polycold* дают следующие преимущества при производстве ДПП:

* улучшенные свойства тонких пленок, благодаря низкому парциальному давлению водяного пара в процессе создания тонких пленок;
* более высокий вакуум (достигнутый в ходе фиксированного времени откачки);
* высокоскоростная селективная откачка водяного пара в ходе отложения;
* уменьшенная миграция воды в рабочую камеру (при использовании криоповерхностей *Polycold*, применяемых в переходных/буферных камерах);
* возросшая производительность/пропускная способность благодаря сокращению времени откачки, значительно уменьшенному времени восстановления основного вакуума после смены мишени или в ходе работы камеры;
* снижение капитальных затрат на оборудование благодаря низкой стоимости откачки водяного пара и уменьшению необходимости использования дорогих высоковакуумных насосов;
* экономия средств пользователя на оборудование благодаря более высокой производительности существующей аппаратуры.

# Литература

1. Органические светоизлучающие диодные дисплей – технология и процессы, *IGC*-*Polycold*, 2002, 49 с.
2. Нестеров С.Б., Подчерняев О.Н., Юдин Б.В., В.Н. Кеменов, Андросов А.В. Высоковакуумные промышленные крионасосы. Материалы 6-й международной конференции «Вакуумные технологии и оборудование», Харьков, 2003, с. 231-237.
3. Нестеров С.Б., Подчерняев О.Н., Юдин Б.В., Кеменов В.Н., Андросов А.В. Крионасосы для откачки паров воды. 10-я научно-техническая конференция «Вакуумная наука и техника», Судак, 2003 г., с. 14-19
4. Нестеров С.Б., Подчерняев О.Н., Юдин Б.В., Кеменов В.Н., Андросов А.В. Применение средств низкотемпературной откачки для откачки паров воды. Научная сессия МИФИ 2004. Сборник трудов. Т.4, 2004, с. 80-81