

УДК 628-51

К ВОПРОСУ О БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

¹Патрушева Т.Н., ¹Барашков В.А., ¹Чурбакова О.В., ²Петров С.К.,
¹Подорожняк С.А., ¹Белоусов А.Л., ¹Федяев В.А.

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, e-mail: pat55@mail.ru;

²Балтийский технический университет им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург,
e-mail: s.k.petrov@mail.ru

Изготовление микроселектронных приборов относится к высокотехнологичным производствам, основанным на получении тонких пленок металлов, диэлектриков и полупроводников. В статье рассмотрены методы получения тонких пленок, необходимых для изготовления приборов микроселектроники. С точки зрения экологической безопасности значительный вред здоровью персонала и окружающей среде наносят химические реактивы, используемые в процессах роста пленок, особенно галогенсодержащие вещества, а также газообразные реактивы. Использование сложного вакуумного оборудования требует повышенного внимания и высокой квалификации персонала предприятий. Развитие микро- и наноселектроники и расширение круга новых функциональных материалов, в частности сложнооксидных, диктует необходимость перехода на новые технологии. Нанотехнологии диктуют новые технологические подходы, в частности развитие растворных методов изготовления тонких пленок, для которых необходимо разработать комплексные системы безопасности.

Ключевые слова: производство электронных продуктов, методы получения пленок, выбросы химических веществ, нанотехнологии в растворах, системы для выведения и утилизации газов

FOR QUESTIONS ABOUT THE SAFETY OF WORK AT THE MICROELECTRONICS ENTERPRISE

¹Patrusheva T.N., ¹Barashkov V.A., ¹Churbakova O.V., ²Petrov S.K.,
¹Podorozhnyak S.A., ¹Belousov A.L., ¹Fedyaev V.A.

¹Siberian federal university, Krasnoyarsk, e-mail: pat55@mail.ru;

²Baltic Technical University, St. Petersburg, e-mail: s.k.petrov@mail.ru

The production of microelectronic devices related to high-tech industries based on the thin films of metals, dielectrics and semiconductors obtaining. The article describes methods of thin films producing required for the manufacture of microelectronic devices. In terms of environmental safety the significant harm to the health of personnel and the environment cause the chemical reagents used in the film growth process, especially halogenated substances and gaseous reactants. Usage of sophisticated vacuum equipment requires special attention of highly qualified personnel of enterprises. The development of micro- and nanoelectronics and the expanding of the range of new functional materials, in particular composite oxides, calls for the transition to new technologies. Nanotechnology dictate a new technological approaches, in particular the development of wet manufacturing techniques of thin films, for which it is necessary to develop a comprehensive security systems.

Keywords: production of electronic products, methods for producing films, release of chemicals, nanotechnology solutions, systems for removal and disposal of gases

Предприятия радиоэлектронной промышленности нашей страны очень важны для обеспечения технической, экономической и военно-стратегической независимости России, в том числе, из-за невозможности и нецелесообразности закупки за рубежом компонентов и модулей для систем навигации, управления и обнаружения различных движущихся объектов.

При производстве электронных продуктов и их компонентов (полупроводниковых чипов, компьютерных клавиатур, мониторов, устройств хранения информации) используются хлорированные вещества, бромированные препараты-гасители пламени, поливинилхлориды, тяжелые металлы, пластики, газы, многие из которых способны оказывать тяжелый вред окружающей среде

и здоровью рабочих. Наноматериалы сейчас широко применяются в электронной промышленности, хотя воздействие наноматериалов на здоровье человека проверяется.

Важным критерием производства микроселектронных приборов является высокая чистота реактивов, газов-носителей, а также рабочих мест и оборудования. В связи с этим инженеры и операторы сложного технологического оборудования одеты в спецодежду, проходят через обеспыливательные камеры и работают в чистых комнатах определенного класса чистоты (рис. 1).

Все методы получения эпитаксиальных пленок и покрытий, используемые в микроселектронике, условно подразделяют на физические и химические методы, а также комбинации этих методов [1].



Рис. 1. Производство микроэлектронной продукции

Физические методы, как правило, основываются на применении законов геометрической оптики (методы вакуумного осаждения с использованием мишени). Под влиянием различных энергетических воздействий на мишень частицы или атомы устремляются к подложке и образуют на ней пленку. К физическим методам можно отнести способы термовакуумного напыления, катодного распыления, ионно-плазменного распыления, молекулярно-лучевой эпитаксии, лазерного распыления. Для уменьшения степени загрязнения наносимых слоев остаточными газами необходимо проводить напыление в высоком вакууме. Перед напылением проводят нагрев подложек и камеры в вакууме для удаления остаточных газов в присутствии поглотителей. Важным преимуществом первой группы методов является возможность контроля практически всех параметров в процессе нанесения пленок с применением дополнительного аналитического оборудования.

К химическим методам получения эпитаксиальных пленок относят процессы роста пленок, осуществляемые с помощью химических реакций. Химические реакции протекают как в растворах соединений металлов, так и на подложке при пиролизе сложных молекул с выделением продуктов разложения, и в процессе дальнейшего твердофазного синтеза с образованием многокомпонентных веществ. Группа химических методов получения пленок позволяет реализовать следующие преимущества: возможность широкого варьирования составов; отсутствие необходимости использования сложного вакуумного оборудования; легкость организации процесса в технологическом масштабе, возможность контроля любого этапа технологической

цепи; возможность нанесения покрытий на материалы любой формы; создание организованных наноструктур. Вневакуумные химические методы получения оксидных пленок включают: химическое и электрохимическое осаждение покрытий; методы золь-гель, Ленгмюра Блоджетт и термолитических растворов. Электролитическое анодирование используется для получения оксидных защитных или диэлектрических слоев на поверхности металла или полупроводника. В большинстве случаев эти методы не требуют дорогостоящего оборудования и являются весьма экономичными.

В отдельную группу можно выделить вакуумные химические методы нанесения эпитаксиальных пленок, в которых изменяется состав или структура наносимых материалов: реактивное катодное распыление; CVD-метод, МОС-гидридная эпитаксия; жидкофазная эпитаксия. Эти технологии предполагают предварительное вакуумирование реактора и подложки, затем введение реакционного газа или газа-носителя. При этом осуществляются химические реакции образования новых соединений, позволяющие широко варьировать свойства получаемых пленок.

Экологическую ситуацию нарушают выбросы, образующиеся в ходе процессов диффузии, очистки, травления и содержащие парниковые газы, токсичные, химически и коррозионно-активные (пары кислот, легирующие примеси, чистящие газы и летучие органические соединения). Например, в качестве чистящих газов в системах газофазного осаждения при плазменном травлении и в производстве тонкопленочных транзисторов используются перфторуглероды (ПФУ) — CF_4 , C_2F_6 и C_3F_8 , трехфтористый азот (NF_3), $HFC-23$ (CHF_3) и гексафторид серы (SF_6). Но есть возможность произвести замену C_2F_6 на менее вредные газы: NF_3 или $c-C_4F_8$. Коэффициент глобального потепления для NF_3 в 47 раз меньше, чем у CF_4 , и в 12 раз меньше, чем у SF_6 , но дороговизна NF_3 тормозит его широкое использование [2].

Различные ноу-хау в системах безопасности реализованы на предприятии «Микрон» при работе с опасными веществами, едкими реактивами, газами. Кислоты, активные реактивы подаются по прозрачным трубкам сечением меньше 1 сантиметра. Такая трубка находится внутри прозрачной трубки большего сечения. Если эта супернадёжная полимерная трубка даёт течь, то кислота попадает не наружу, а в трубку большего диаметра. Эта трубка находится по всей длине под наклоном примерно в 3 градуса. Таким образом, капли протекшей

кислоты дотекают до сенсора, который находится в конце трубки, он срабатывает – подача вещества прекращается. Это абсолютно надёжная, безопасная система. На новом производстве операторы никогда не контактируют с реактивами. При аварии повреждённый участок локализуется в малом объёме, поскольку система прекращает подачу вещества [3].

Предприятия микроэлектроники оснащены дорогостоящим высокотехнологичным оборудованием, обеспеченным средствами аналитического контроля. Использование источников бесперебойного питания крайне актуально для вакуумных машин и технологических линий. Отклонения и прерывание в работе электросетей может повлечь за собой не только нарушение нормального технологического процесса, но и повреждение дорогостоящего оборудования. Современные средства, методы и инструменты измерений нуждаются в эффективной защите от неблагоприятного воздействия вибрации для обеспечения стабильных и точных параметров.

процессов и их оснащения аналитическим оборудованием. Процессы молекулярной самосборки, характерные для нанотехнологий, легче осуществляются в растворах. В связи с этим растворные технологии, не отягощенные использованием вакуумного оборудования, весьма актуальны. Однако, до сих пор не разработаны технологические линии и системы безопасности для этих технологий при наличии отдельных методов нанесения пленок вращением, пульверизацией, погружением, накатыванием [1].

В настоящее время все большую популярность приобретают методы золь-гель, Ленгмюра Блоджетт, а также разработанный авторами Экстракционно-пиролитический метод, которые используют органические соединения металлов (алкоксиды, карбоксилаты и др.) и полимерные соединения, не отличающиеся высокой токсичностью. Многие изделия с sol-gel «керамическим» покрытием заявляются как «зеленые», экологически чистые, потому что не содержат полифтор-соединений ПФОА и ПТФЭ.

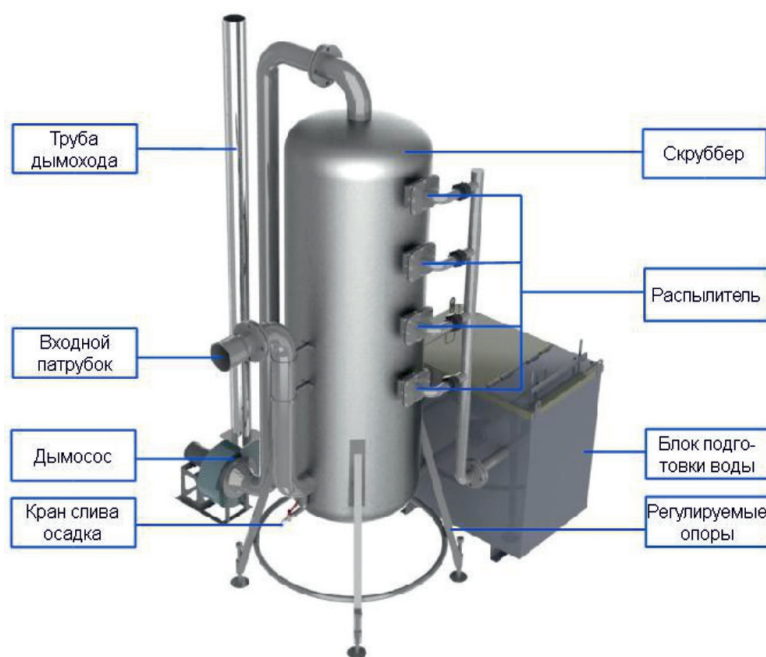


Рис. 2. Скруббер

Развитие микро- и нанoeлектроники и расширение круга новых функциональных материалов, в частности сложнооксидных, диктует необходимость перехода на новые технологии. При этом, как известно, такие переходы резко снижают производственные затраты, которые со временем нарастают за счет усложнения

Процессы получения тонких пленок этими методами осложняются только выделением диоксида углерода при разложении органической составляющей прекурсоров.

Существует несколько видов систем для выведения и утилизации газов: химические, плазменные, адсорбционные. Адсорбенты, чаще всего применяемые в газоочистке, –

это активированный уголь, силикагель, алюмогель, природные и синтетические цеолиты (молекулярные сита). Чтобы эффективно улавливать более летучие вещества, активированный уголь дополнительно пропитывают специальными реагентами, такими как соли меди, цинка, серебра, молибдена, которые, вступая в реакцию с молекулами загрязнителя, превращают их в безвредные вещества. Адсорбционная установка, состоящая из нескольких реакторов, работает в целом непрерывно, так как одновременно одни реакторы находятся на стадии очистки, а другие на стадиях регенерации. Адсорбционный метод особенно рационален для удаления токсических примесей (органических соединений, паров ртути и др.), содержащихся в малых концентрациях. Для улавливания кислотных паров и для глубокой очистки газов от частиц пыли, дыма, аэрозолей и твердых примесей применяется скруббер (рис. 2), который позволяет также утилизировать тепло уходящих газов.

Принцип работы скруббера состоит в том, что газовая среда совместно с жидкой поступает в камеру инжектора через закручиватели, расположенные в нижней его части. При этом в объёме образующейся в камере динамической пены происходит интенсивный массообмен между фазами. Соединения из газовой фазы переходят в жидкую технологическую среду. Очищенная газовая среда направляется в атмосферу, а жидкая среда через сливной патрубок поступает в приёмно-разделительную ёмкость скруббера.

Для очистки от фторсодержащих компонентов используются системы очистки «burner-washer», применяющие сжигание газообразных технологических отходов и растворение продуктов горения с их последующей утилизацией. В производстве используются процессы высокотемпературной минерализации отходов под действием изотермической плазмы, полученной пропусканием плазмообразующего газа через электрическую дугу [4]. Очистка сточных вод представляет собой физико-химический процесс, который происходит во флокуляционной камере, фильтровальном резервуаре и системе химической обработки.

Безопасность работы операторов обеспечивают вытяжные системы. Для большинства производственных процессов, целесообразно применение систем местной вытяжной вентиляции, обеспечивающих чистую воздушную среду в зоне дыхания рабочего при минимальных затратах на свое построение и дальнейшие эксплуатационные затраты. Благодаря такому способу вентиляции не допускается распространение

загрязнений по всему помещению, в рабочей зоне обеспечивается чистая воздушная среда и при этом уменьшаются затраты на тепло-электроэнергию.

Специфика производства диктует в первую очередь требования к чистым помещениям – основной среде производства [5]. К условиям инженерного обеспечения современного производства относят много факторов, первостепенными из которых являются: степень чистоты воздуха производственных помещений, оцениваемая концентрацией взвешенных частиц; время восстановления чистоты помещения до исходного уровня после кратковременного превышения допустимого значения; расход воздуха (кратность воздухообмена); скорость воздушного потока, однородность скорости воздушного потока, однонаправленность воздушного потока; избыточное давление воздуха; номинальная температура воздуха, точность поддержания заданного значения температуры; относительная влажность воздуха, уровень акустических шумов; освещенность; аэроионизация воздуха; уровень вибрации; напряженность электрических полей, напряженность магнитных полей. Внутренние источники запыленности требуют постоянной фильтрации воздуха. Значения температуры и влажности должны не только укладываться в узкий диапазон: температура $21 \pm 5^\circ\text{C}$, влажность: $65 \pm 15\%$, но и быть одинаковыми для всех помещений, где точность позиционирования – основное условие производства. Относительная влажность воздуха в ответственных зонах помещения контролируется специальными датчиками. Международный стандарт ИСО 14644 («Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды») и аутентичный ему межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 14644 [6-10] содержат исчерпывающую информацию.

Для того чтобы работать с западными, восточными серьёзными холдингами, необходимо полностью привести в соответствие строгим европейским, японским стандартам экологический аспект деятельности российских предприятий электроники. Сертификат ISO 14001 (сертификат соответствия стандартам системы экологического менеджмента) предполагает исключение из производства шести веществ, запрещённых к использованию в Евросоюзе. Это тяжёлые металлы (свинец, шестивалентный хром, ртуть, кадмий) и два органических вещества (бромиды). Одно из требований стандарта – постоянные улучшения. Кроме законодательных и нормативных актов стандарт предусматривает выполнение программ экологического менеджмента, в которых

идёт развитие по снижению отрицательного воздействия производства на окружающую среду. Закрытый раньше экспортный рынок открылся, и цена на некоторые изделия повысилась. Внешний экономический эффект состоит в том, что сертификация позволила торговать с крупными мультинациональными компаниями. Кроме этого, есть внутренний экономический эффект, поскольку эта работа позволит снизить ресурсоёмкость, и оптимизировать системы обработки и утилизации материалов.

Экологические аспекты реализуются также в изделиях микроэлектроники, которые работают в режимах в «standby», «green mode», «blue angel». «Зелёные» технологии в мире объявлены основными движущими силами рынка. Развиваются так называемые «smart grids» («умные сети» распределения энергии), обеспечивающие высокую эффективность энергозатрат.

Растворные технологии не требуют высоких энергозатрат и вакуумного оборудования. Возможность использования высокочистых реагентов для получения тонких пленок функциональных материалов реализуется в экстракционно-пиролитическом методе, в котором очистка компонентов предусмотрена на стадии экстракции. Технологические линии для растворных методов находятся в стадии разработки, при этом экологическое обеспечение включает вытяжные системы и оборудование для утилизации отходящих газов и жидких отходов (органических и неорганических).

Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ р_Сибирь 15-48-04224 и Краевого фонда науки Красноярского края.

Заключение

Экологические проблемы электронной промышленности становятся все более острыми в последнее время, что связано с одной стороны с расширением производства электронных средств, а с другой – с усложнением электронных изделий и необходимостью использования в их производстве все новых, часто токсических веществ. Персонал, его одежда, стены и полы, продукты

и отходы производства, технологические материалы, документация и инструмент, естественный приток воздуха – все это мощные источники загрязнений. Электронщикам нужны особые производственные площадки, защищенные от пыли, частиц металлов и микроорганизмов, а также специальное оборудование, например, резервуары с жидким азотом, средства для сбора химических отходов, высокие тепловые и энергетические мощности, системы безопасности и др. Использование растворных технологий для получения тонких пленок требует разработки не только эффективных технологических линий, но и обеспечения систем безопасности, включающих вытяжную вентиляцию, отвод и утилизацию газовых выбросов, а также переработку жидких отходов.

Список литературы

1. Патрушева Т.Н. Растворные пленочные технологии // Изд. СФУ Красноярск 2010 – 278 с.
2. Проблемы и состояние промышленной и экологической безопасности в высокотехнологичном производстве электроники в России // Технологическое оборудование для микроэлектроники ЭЛТЕХ <http://equip.eltech.com/articles.html>.
3. Микрон – Публикации <http://www.mikron.ru/press/publicity/5116/>
4. Константинова Л.А., Ларионов Н.М., Писеев В.М. Методы и средства обеспечения безопасности технологических процессов на предприятиях электронной промышленности. – М. МИЭТ, 1990.
5. Медведев А.М., Сержантов А.М., Семенов П.В. Инженерное обеспечение производства электроники // Технологии в электронной промышленности. – 2006. – № 6. – С. 70–75.
6. Уайт В. Технология чистых помещений. Основы проектирования, испытаний и эксплуатации. Пер. с англ. – М.: Клиррум, 2002.
7. ГОСТ ИСО 14644-1-2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха.
8. ГОСТ Р ИСО 14644-2-2001 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 2. Требования к контролю и мониторингу для подтверждения постоянного соответствия.
9. ГОСТ Р 51752-2001 Чистота промышленная. Обеспечение и контроль при разработке, производстве и эксплуатации продукции.
10. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.