БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

кафедра ЭТТ

РЕФЕРАТ

на тему:

"Виды испарений и распылений в технологии ЭОТ"

МИНСК, 2008

## Лазерное, электронно-лучевое, "взрывное" испарение

Принцип электронно-лучевого нагрева состоит в том, что кинетическая энергия потока ускоренных электронов при бомбардировке ими поверхности вещества превращается в тепловую энергию, в результате чего оно нагревается до температуры испарения.

Для образования электронного луча необходим источник свободных, т.е. не связанных с другими частицами, электронов. Для того чтобы электрон вылетел из металла наружу, его скорость должна быть направлена в сторону поверхности металла и он должен преодолеть действие сил, стремящихся возвратить его обратно в металл.

Работу по преодолению электроном поверхностных сил, стремящихся удержать его в металле, называют работой выхода. При комнатной температуре количество электронов в металле, энергия которых превышает работу выхода, ничтожно мало. Однако их количество резко возрастает при росте температуры за счет увеличения интенсивности теплового хаотического движения.

Испускание электронов металлами, нагретыми до высокой температуры, называют термоэлектронной эмиссией (Рисунок 1, а), а выполненные из металла элементы, используемые для получения свободных электронов, - термоэлектронными катодами, или просто катодами. Материалом катодов обычно служит вольфрамовая проволока. Для накала катода, помещенного в вакуумную камеру, через него пропускают электрический ток.

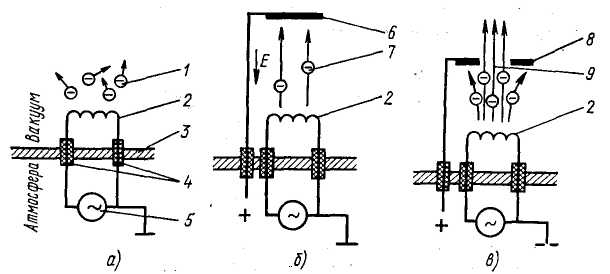


Рисунок 1. Эффект термоэмиссии (а), ускорение электронов (б) и формирование электронного луча (в):

1 - эмиттированные электроны, 2 - термокатод, 3 - стенка вакуумной камеры, 4 - изоляторы, 5 - источник питания термокатода, 7 - ускоренный электрон, 6,8 - аноды, Р - электронный луч

Спиральный термокатод 2 закрепляют на стенках 3 вакуумной камеры через изоляторы 4. При подаче тока накала от источника 5 происходит нагрев термокатода с испусканием электронов 1. Эти электроны обладают разной энергией и направление их движения от катода хаотично. Дня ускорения (повышения энергии) и направленного движения электронов необходимо создать ускоряющее электрическое поле.

Рассматривая движение электронов в электрическом поле, предполагают, что они находятся в достаточно разреженном пространстве. При этом взаимодействием между молекулами оставшегося в объеме газа и движущимися электронами можно пренебречь.

Как известно из электротехники, на заряженную частицу - электрон, находящуюся в электрическом поле, действует сила, пропорциональная напряженности этого поля, в результате чего частица ускоряется. Скорость (км/с), которую приобретет электрон под действием разности потенциалов И между двумя точками поля, равна



При этом кинетическая энергия (эВ) электрона



где те - масса электрона.

В устройстве для ускорения электронов (Рисунок 1, б) в нескольких сантиметрах от катода размещают анод 6, создающий электрическое поле Е, направление которого показано стрелкой. Между анодом 6 и катодом 2 образуется разность потенциалов от 5 до 10 кВ. Электроны, эмиттируемые катодом 2, притягиваются анодом 6 и образуют направленный поток ускоренных электронов 7.

Для формирования электронного луча 9 (Рисунок 1, в) используют анод 8 с отверстием, через которое проходит значительная часть электронного потока.

Рассмотрим движение электрона в магнитном поле и силу, действующую на электрон, влетающий в магнитное поле между полюсами постоянного магнита перпендикулярно силовым линиям этого поля (Рисунок 2).

Движущийся электрон можно представить как электрический ток, проходящий через проводник. Тогда по известному из электротехники правилу левой руки можно определить направление силы, действующей на электрон. Если расположить левую руку так, чтобы силовые линии магнитного поля упирались в ладонь, а вытянутые пальцы были направлены в сторону, противоположную направлению скорости V электрона то отогнутый большой палец покажет направление силы, действующей на летящий электрон. Эта сила будет пропорциональна напряженности магнитного поля и скорости электрона.

Рисунок 2. Движение электронов в магнитном поле

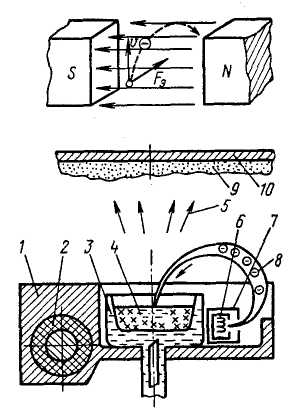


Рисунок 3. Электронно-лучевой испаритель:

1 - полюсный наконечник, 2 - электромагнит, 3 - водоохлаждаемый тигель, 4 - испаряемый материал, 5 - поток наносимого материала, 6 - термокатод, 7 - фокусирующая система, 8 - электронный луч, 9 - тонкая пленка, 10 - подложка

Таким образом, сила FЭ, действующая на электрон, перпендикулярна направлениям скорости его движения и силовых линий магнитного поля. Поскольку сила FЭ действует всегда перпендикулярно скорости движения электрона, она изменяет не скорость его, а только направление. Под действием этой силы траектория движения электрона непрерывно изменяется, т.е. искривляется (как это показано на рисунке 2 штриховой линией). Следовательно, если перпендикулярно электронному лучу приложить магнитное поле, он отклонится.

Фокусировка электронного луча позволяет получать большую концентрацию мощности на сравнительно малой поверхности (5 х 10 Вт/см2), а следовательно, испарять любые, даже самые тугоплавкие материалы с достаточно большой скоростью.

Электронно-лучевой испаритель (Рисунок 3) состоит из трех основных частей: электронной пушки, отклоняющей системы и водоохлаждаемого тигля.

Электронная пушка предназначена для формирования потока электронов и состоит из вольфрамового термокатода 6 и фокусирующей системы 7. Электроны, эмитируемые катодом, проходят фокусирующую систему, ускоряются за счет разности потенциалов между катодом и анодом (до 10 кВ) и формируются в электронный луч 8. Отклоняющая система предназначена для создания магнитного поля, перпендикулярного направлению скорости движения электронов, выходящих из фокусирующей системы пушки, и состоит из полюсных наконечников 1 и электромагнита 2. Между полюсными наконечниками расположены водоохлаждаемый тигель 3 и электронная пушка. Отклоняя электронный луч магнитным полем, его направляют в центральную часть водоохлаждаемого тигля 3. В месте падения луча создается локальная зона испарения вещества из жидкой фазы. Нагретый электронной бомбардировкой материал 4 испаряется, и поток паров 5 осаждается в виде тонкой пленки 9 на подложке 10. Изменяя ток в катушке электромагнита 2, можно сканировать лучом вдоль тигля, что предотвращает образование "кратера" в испаряемом материале.

Медные водоохлаждаемые тигли емкостью 50 см3 и более обеспечивают длительную непрерывную работу без добавки испаряемого материала, который, кроме того, не контактирует в расплавленном виде с медными стенками тигля ("автотигельное испарение"), а значит, и исключается их взаимодействие.

Электронно-лучевые испарители могут быть одно-и многотигельной конструкции, с разворотом луча на 5.3.30 и 180°. При угле отклонения электронного луча до 270° исключается попадание испаряемого материала на катод и загрязнение наносимых пленок материалом катода, который во время работы также испаряется.

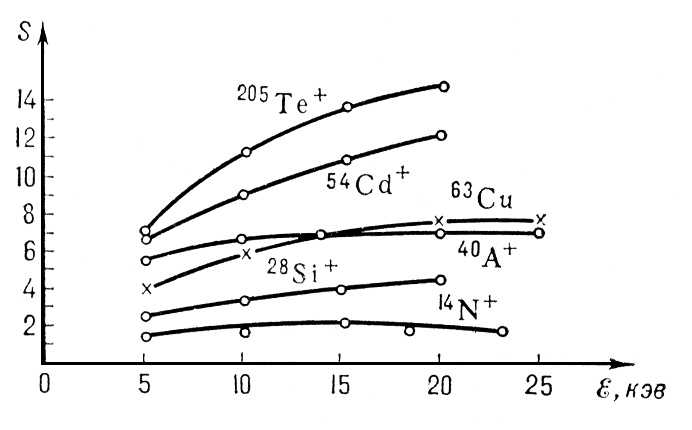
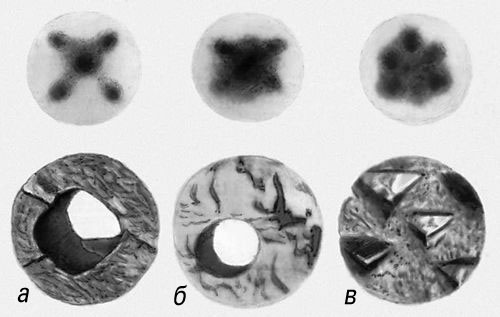
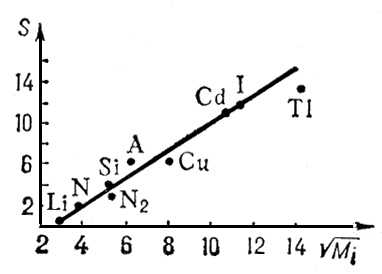
Недостатки этих испарителей - сложность аппаратуры питания и управления, трудность испарения металлов высокой теплопроводности (медь, алюминий, серебро, золото) из водоохлаждаемого тигля, необходимость частой замены и юстировки катода, а также питание высоким напряжением, что требует соблюдения соответствующих правил техники безопасности.

## Катодное распыление

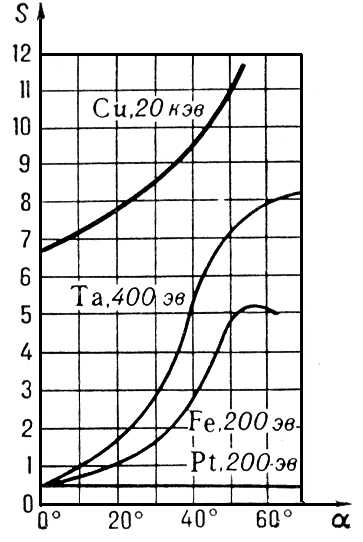
Ионное распыление, разрушение отрицательного электрода (катода) в газовом разряде под действием ударов положительных ионов. В более широком смысле - разрушение твёрдого вещества при его бомбардировке заряженными или нейтральными частицами.

К.р., с одной стороны, нежелательное явление, уменьшающее срок службы электровакуумных приборов; с др. стороны, К.р. имеет практическое применение для очистки поверхностей, выявления структуры вещества (ионное травление), нанесения тонких плёнок, для получения направленных молекулярных пучков и т.д. Бомбардирующие ионы, проникая в глубь мишени, вызывают смещение её атомов. Эти смещенные атомы, в свою очередь, могут вызывать новые смещения и т.д. Часть атомов при этом достигает поверхности вещества и выходит за её пределы. При определённых условиях частицы могут покидать поверхность мишени в виде ионов. В монокристаллах наиболее благоприятные условия для выхода частиц складываются в направлениях, где плотность упаковки атомов наибольшая. В этих направлениях образуются цепочки соударений (фокусоны), с помощью которых энергия и импульс смещенных частиц передаются с наименьшими потерями. Существенную роль при К.р. играет процесс каналирования ионов, определяющий глубину их проникновения в мишень К.р. наблюдается при энергии ионов E выше некоторой величины E0, называемым порогом К.р. Значения E0 для различных элементов колеблются от единиц до нескольких десятков эв. Количественно К.р. характеризуется коэффициентом распыления S, равным числу атомов, выбитых одним ионом. Вблизи порога S очень мало (10–5 атомов/ион), а при оптимальных условиях S достигает нескольких десятков. Величина S не зависит от давления газа при малых давлениях р < 13,3 н/м2 (0,1 мм рт. ст), но при р > 13,3 н/м2 (0,1 мм рт. см) происходит уменьшение S за счёт увеличения числа частиц, осаждающихся обратно на поверхность. На величину S влияют как свойства бомбардирующих ионов - их энергия Ei (Рисунок 4 а), масса Mi (Рисунок 4 б), угол падения ее на мишень (Рисунок 4 в), так и свойства распыляемого вещества - чистота поверхности, температура, кристаллическая структура, масса атомов мишени.

Угловое распределение частиц, вылетающих с распыляемой поверхности, анизотропно. Оно зависит от энергии ионов, а для монокристаллов также от типа кристаллической решётки и строения распыляемой грани. Осадок из распыляемого вещества, образующийся на экране, имеет вид отдельных пятен, причём симметрия картины осадка та же, что и симметрии распыляемой грани и образовавшихся на ней в результате К.р. фигур травления (Рисунок 4 г). Энергии распылённых частиц колеблются от нескольких долей эв до величин порядка энергии первичных ионов. Средние энергии распыляемых частиц составляют обычно десятки эв и зависят от свойств материала мишени и характеристик ионного пучка



а) б) в)



г)

Рисунок 4 а-г

## Высокочастотное распыление. Реактивное распыление

Для высокочастотного и реактивного ионного распыления используют как обычные диодные, так и магнетронные системы.

Высокочастотное распыление начали применять, когда потребовалось наносить диэлектрические пленки. В предыдущей главе предполагалось, что распыляемое вещество - металл. При этом ударяющийся о мишень ион рабочего газа нейтрализуется на ней и возвращается в вакуумный объем рабочей камеры.

Если же распыляемый материал - диэлектрик, то положительные ионы не нейтрализуются и за короткий промежуток времени после подачи отрицательного потенциала покрывают слоем мишень, создавая на ее поверхности положительный заряд. Поле этого заряда компенсирует первоначальное поле мишени, находящейся под отрицательным потенциалом, и дальнейшее распыление становится невозможным, так как ионы из разряди но притягиваются к мишени.

Для того чтобы обеспечить распыление диэлектрической мишени, приходится нейтрализовать положительный заряд на ее поверхности подачей высокочастотного (ВЧ) переменного потенциала. При этом в системе распыления, которая представляет собой диодную систему (Рисунок 5, а, б) с катодом 2, окруженным экраном 1 (анодом может служить вакуумная камера), происходят следующие процессы.

Так как в плазме положительного столба 4 содержатся равные количества иолов и электронов, при переменной поляризации мишени по время отрицательного полупериода (Рисунок 5, а) она притягивает ионы 3. Ускоренные ионы бомбардируют и распыляют диэлектрическую мишень, одновременно передавая ей свой заряд. При этом мишень накапливает положительный заряд и интенсивность распыления начинает снижаться. Во время положительного полупериода (Рисунок 5, б) мишень притягивает электроны 5, которые нейтрализуют заряд ионов, превращая их в молекулы 6. В следующие отрицательный и положительный полупериоды процессы повторяются и т.д.

В промышленных установках ВЧ распыление ведется на единственной разрешенной частоте 13,56 МГц, которая находится в диапазоне радиосвязи. Поэтому иногда ВЧ распыление называют радиочастотным.

Реактивное распыление применяют для нанесения пленок химических соединений (оксидов, нитридов). Требуемое химическое соединение получают, подбирая материал распыляемой мишени и рабочий газ.

При этом методе в рабочую камеру в процессе распыления вводят дозированное количество так называемых реактивных (химически активных) газов. Причем для нанесения пленок оксидов и нитридов в рабочий газ - аргон - добавляют соответственно кислород и азот. Основными условиями при получении требуемых соединений является тщательная очистка реагентов и отсутствие натекания, а также газовыделения в камере.

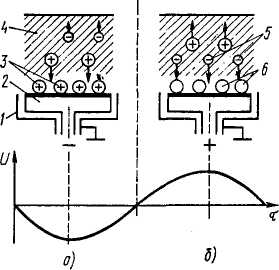


Рисунок 5. Схемы высокочастотного распыления при отрицательном (а) и положительном (б) полупериодах напряжения:

7 - экран, 2 - катод, 3 - ионы, 4 - плазма, 5 - электроны, б - молекулы

Недостаток реактивного распыления - возможность осаждения соединений на катоде, что существенно уменьшает скорость роста пленки.

При реактивном распылении реакции могут протекать как на мишени, так и в растущей пленке, что зависит от соотношений реактивного газа и аргона. В отсутствие аргона реакции происходят на мишени. При этом разряд протекает вяло, так как большинство атомов реактивного газа расходуется на образование на поверхности мишени соединений, которые препятствуют распылению. Чтобы реактивные процессы проходили на подложке, количество реактивного газа не должно превышать 10%; остальное составляет аргон.

При реактивном распылении кремния напускаемый в рабочую камеру кислород взаимодействует с конденсирующими на поверхности подложки атомами кремния, в результате чего образуется пленка SiO2.

При нанесении реактивным распылением диэлектрических пленок нитрида кремния Si3N4 происходит аналогичный процесс. В рабочую камеру напускают тщательно осушенный и очищенный от кислорода аргон с добавкой азота. Ионы этих газов, бомбардируя кремниевый катод, выбивают из него атомы кремния и на подложке вследствие большой химической активности ионизированных атомов азота образуется пленка нитрида кремния Si3N4, отличающаяся высокой химической стойкостью.

Так как условия реакции при нанесении диэлектрических пленок существенно зависят от постоянства в рабочем газе процентного содержания напускаемого реактивного газа, необходимо строго следить за его подачей. Напуск газов в рабочую камеру обычно производят двумя способами:

* вводят оба газа (аргон и реактивный) из магистралей или баллонов, контролируя расход реактивного газа микрорасходомером и поддерживая постоянное давление;
* вводят заранее подготовленную определенного состава рабочую смесь газов из резервуара.

# ЛИТЕРАТУРА

1. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. Учебник для ВУЗов - М; Радио и связь, 2007 - 464 с: ил.
2. Технология СБИС. В 2 кн. Пер. с англ. /Под ред.С. Зи, - М.: Мир, 2006. -786 с.
3. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств. Справочник. - М.: Радио и связь, 2001. -528 с.
4. Достанко А.П., Баранов В.В., Шаталов В.В. Пленочные токопроводящие системы СБИС. -Мн.: Выш. шк., 2000. -238 с.
5. Таруи Я. Основы технологии СБИС Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 2000-480 с.