# Курсовая работа

## Катод Спиндта.

**Содержание:**

1. **Введение.**
2. **Автоэлектронная эмиссия.**
3. **Тонкоплёночные автоэмиссионные катоды. Технология и особенности протекания эмиссионных процессов.**
4. **Технология изготовления катодов Спиндта.**
5. **Плотность упаковки эмиттеров.**
6. **Время жизни.**
7. **Заключение.**
8. **Список литературы.**

**Введение:**

Стремительное развитие деловой жизни и появление новейших цифровых информационных технологий и устройств отображения информации заставляют разработчиков третьего тысячелетия совер-шенствовать способы отображения и передачи информации .

Вакуумная микроэлектроника во многом определила пути реализации самых смелых идей в использовании информационного пространства. Современного пользователя невозможно представить без компьютера и программ, на базе которых строятся современные исследования, разработки и использование мирового информационного пространства, позволяющего двигать науку .

 Конечно, историю науки пишут сами люди науки. Поэтому никак не избежать субъективного подхода к изложению дате одних и тех же фактов, к подбору «значительных событий», к оценке значительности того или иного специалиста, той или иной работы для развития научного направления: ведь есть пророни своем отечестве

о которых не знают в отечествах других .

 Основной доклад на первой международной конференции по вакуумной микроэлектроники сделал Айвор Броди – один из основоположников этого направления. По мнению Броди вакуумная микроэлектроника приобрела большое значение благодаря двум факторам общего характера:

1. Возросли требования, которым уже не могут удовлетворить твёрдотельные приборы, даже после огромных исследовательских затрат, и, кроме того,
2. Специалисты пришли к выводу, что отнюдь не будет непрактичным делать вакуумные лампы микронных и субмикронных размеров.

 Как же по Айвору Броди развивалась вакуумная микроэлектроника? Он выделяет четыре основных пути её развития, которые привели к сегодняшнему состоянию.

 В начале 20-х годов нашего столетия пробой заявил о себе в периодических срывах трансатлантических радиопередач, осуществляемых с помощью высоко мощных ламп Маркони. Госслинг, работавший у Маркони, исследовал этот эффект и в 1926 году опубликовал работу, в которой высказал гипотезу, что пробой вызывается электронами с выпуклостями на вольфрамовом стержневом катоде. Эти выпуклые неоднородности взрывались, вызывая пробой. Как пишет Броди, обсуждение этих результатов с профессором Фаулером из Кембриджского университета привело к Нордгейму, получившему средства на исследования, и, в конечном счете, к уравнению Фаулера – Норд гейма. Открытие того, что электроны могут вылетать с холодных катодов под действием электрических полей с высокой напряжённостью, вызвало множество проектов приборов, но прошло более сорока лет, прежде чем что-то получилось.

 Настоящая работа посвящена особенностям технологии изготовления катодов Спиндта , основанная на методе создания решеток автокатодов, с использованием тонкопленочной технологии и электронно-пучковой литографии.

Решетки автоэмиссионных катодов, изготовленных из монокристаллов кремния с применением тонких металлических пленок, обладают техническими характеристиками, позволяющими их широкое применение в плоских дисплеях, сканирующих микроскопах и т.п.

 **Автоэлектронная эмиссия.**

 Автоэлектронная эмиссия (АЭ) - физическое явление, состоящее в том, что электроны покидают твёрдое тело, в котором они находятся в качестве свободных носителей заряда (это может быть металл или полупроводник), под действием сильного электрического поля, приложенного к поверхности. В случае автоэлектронной эмиссии электроны преодолевают потенциальный барьер на поверхности тела не за счет кинетической энергии теплового движения, а путем специфического квантового явления – туннельного эффекта.

 В простейшем случае туннельный эффект заключается в том, что микроскопическая частица, первоначально находившаяся по одну сторону потенциального барьера (то есть области пространства, для которой полная энергия частицы ε превышает её потенциальную энергию Uсх), может с конечной вероятностью быть обнаружена по другую сторону барьера.

 Туннельный эффект является чисто квантовым феноменом и для него отсутствует аналог в классической механике. Согласно Ньютновской механике частица с массой m не может находиться внутри потенциального барьера, поскольку из уравнения для полной энергии следует,

 (1)

что соотношение выполняется только для мнимых значений импульса р. Объяснение туннельного эффекта, в конечном счёте, связано с соотношением неопределённости Гейзенберга, согласно которому квантовая частица находиться в состоянии с одновременно точно определёнными координатой и импульсом.

Неопределённости  и всегда удовлетворяют соотношению

, (2)

где  эргс – постоянная Планка.

Согласно этому принципу, слагаемые в правой части уравнения (1) не имеют одновременно определённых значений и могут отличаться от своих средних значений. Поэтому имеется конечная вероятность обнаружить квантовую частицу в запрещённой зоне с точки зрения классической механики области.

 Туннельный эффект был одним из первых квантовых явлений, предсказанных после создания в 1926 году Э. Шредингером волновой механики. По всей видимости, первое свидетельство его существования можно найти в статье Л. И. Мандельштама и М. А. Леонтовича, которые рассматривали решение уравнения Шредингера для

модельного потенциала ангармонического осциллятора вида

 при и при .

Волновая функция, описывающая свободное движение частицы слева от потенциала (при x>a). При этом, когда энергия частицы близка к значениям дискретных уровней энергии внутри потенциальной ямы, амплитуда волновой функции справа от нее резко возрастает. Это явление на современном языке носит название резонансного прохождения через потенциальный барьер.

 В 1928 году Г. Гамов с помощью туннельного эффекта объяснил явление  - радиоактивности тяжёлых ядер, и в том же году Фаулер и Норд гейм построили теорию холодной эмиссии из поверхности металлов. Туннельный эффект лежит в основе объяснения таких явлений, как слияние лёгких ядер при термоядерных реакциях, работы сверхпроводящего перехода Джозефсона и туннельного диода. Именно Фаулер вместе с Нордгеймом в том же 1928 году построили теорию холодной эмиссии (автоэлектронной эмиссии) с поверхности металлов.

 На рис.1 приведен график потенциальной энергии электрона вблизи границы металл – вакуум при отсутствии внешнего поля и при наличии слабого и сильного внешних полей в зависимости от расстояния от поверхности металла.

 U(x)

 x

**Уровень Ферми.** 1

 **2**

**Энергетические урони, d**

**заполненные электро-**

**нами. 3**

 **металл вакуум**

Кривые 1,2 и 3 соответствуют

случаям отсутствия внешнего

поля, слабому полю и

сильному полю: d-ширина

барьера. По мере увеличения

внешнего положительного

поля понижается

высота потенциального

барьера над уровнем Ферми

и уменьшается его ширина.

Следовательно, увеличивается

вероятность проникновения

через барьер электронов,

подлетающих к нему со

стороны металла.

Иными словами ,

увеличивается число **Рис.1** Поверхностный потенциальный барьер на границе

 раздела металл–вакуум.

электронов, проходящих через барьер, то есть ток автоэмиссии. Подчеркнем, что в случае автоэмиссии с поверхности металла, электрическое поле не проникает в глубь него и не влияет на движение электронов в металле. Роль внешнего поля сводиться только к изменению формы потенциального барьера, уменьшению его высоты и ширины.

**Тонкопленочные автоэмиссионные катоды**

**Технология и особенности протекания эмиссионных**

**процессов.**

 Исключительно важной для всего развития вакуумной микроэлектроники стала статья Спиндта с сотрудниками из Стэндфордского исследовательского института, опубликованная в 1976 году в журнале Journal of Applied Physics. В ней был описан метод создания решёток автокатодов с молибденовыми остриями с использованием тонкоплёночной технологии и электронно-пучковой микролитографии, а также были приведены результаты подробного экспериментального исследования полученных автокатодов. Разработанная технология позволяла изготавливать катоды, содержавшие до 5000 острий с радиусом скругления около 500 A и плотностью упаковки примерно 

Тонкоплёночный катод с полевой эмиссией представляет собой сэндвич: проводник-изолятор (рис.2) . Верхний проводник или сетка имеет отверстие от 1 до 3 мкм в диаметре, сквозь которое протравлено отверстие до нижнего проводника. На подложке находится конусообразный эмиттер, его вершина располагается в отверстии сеточной пленки. Размеры для одного из изготовленных катодов приведены на рисунке.

 0,4 мкм 1,5мкм

 2

1,5мкм

 3

 3

 1

4

**Рис. 2 Схематическое изображение тонкоплёночного автоэмиссионного катода Спиндта.**

1. Молибденовый конус
2. Изолирующий слой из диоксида кремния
3. Молибденовая управляющая плёнка
4. Кремневая подложка.

Перспективным применением изделий вакуумной микроэлектроники представляется разработка плоских панельных дисплеев. Обеспечивающих высокое качество изображения и яркости ( в том числе и для цветного телевидения). Кремний –очень удобный материал для изготовления автоэмиссионных катодов. Поиск новых материалов, подходящих для создания автокатодов, ведется непрерывно.

**Технология изготовления катодов Спиндта заслуживает**

**особого внимания. Она состоит из нескольких этапов.**

1. Получение стандартной высокопроводящей подложки из кремния. Эта подложка покрывается затем оксидной плёнкой кремния требуемой толщины (1,5мкм) с помощью техники окисления.
2. Методом электронно-лучевого напыления на окисел наносится тонкая плёнка молибдена толщиной 0,4мкм.
3. Эта структура покрывается полиметилметакрилатом (ПММ) – высокополимерным соединением, которое представляет собой электронночувствительное сопротивление. Толщина пленки (ПММ) примерно 1мкм.
4. Поверхность ПММ экспонируется в вакууме сфокусированными электронными пучками, формируя на ней пятна нужного диаметра и необходимой конфигурации. Пятна обычно имели диаметр около 1мкм и располагались в узлах квадратной решётки с шагом 25,4мкм или 12,4 мкм.
5. Экспонированные участки растворяются в изопропиловом спирте, а затем происходит травление лежащего ниже этих участков слоя молибдена до диэлектрика.
6. Удаляются остатки ПММ, и слой диэлектрика травится плавиковой кислотой до кремневой подложки. В результате образуется структура, показанная на рис.3.1. Плёнка молибдена слегка нависает над отверстием в диэлектрике, так как кислота не действует на молибден.
7. Методом вакуумного напыления на молибден наносится плёнка алюминия. При этом образец непрерывно вращается вокруг вертикальной оси, и напыление происходит под большим углом к ней. Это делается, чтобы предотвратить попадание алюминия в сетке. Размер отверстия уменьшается до необходимой величины (рис. 3.2.).
8. Через частично закрытое отверстия производится напыление молибдена, при этом внутри отверстия вырастает конус необходимого размера и высоты. Вершина конуса формируется, когда отверстие полностью закрывается. Эта стадия процесса показана на рис. 3.3.
9. Вспомогательный слой алюминия растворяется, находящийся на нем молибденовая пленка удаляется (рис. 3.4.). После термической тренировки в вакууме катод готов к применению.

**Рис.3. Технология изготовления тонкоплёночного катода.**

 2мкм

 2 2

 1

 1

 **3**

 **Рис.3.1. Исходная структура для формирования конуса.**

 5

 **Рис.3.2. Формирование изолирующего слоя.**

 4 5

 **Рис.3.3. Формирование конуса напылением.**

 **Рис.3.4. Удаление изолирующего слоя.**

1-металическая плёнка; 2-диэлектрик; 3-кремневая подложка;

4-ось вращения; 5-направление напыления

 Используя такую технологию, были изготовлены катоды с 1,100 и 5000 эмиттерами. Решётка со 100 эмиттерами имела вид матрицы

10 на 10 с шагом 25,4мкм, так что полная область эмиссии представляла собой квадрат со стороной 0,25мм. Решётка с 5000 эмиттерами заполняла круглую область диаметром 1мм с расстоянием между конусами 12,7мкм. Таким образом, плотность упаковки эмиттеров достигла . Фотография поверхности тонкоплёночного катода под большим увеличением приведена на рис.4.

**Рис.4 Поверхность тонкоплёночного катода.**

 **1мm**

 25мm

 **Рис.4.1. Решётка острий под Рис.4.2.Одиночное остриё.**

 **большим увеличением.**

 Область рабочих напряжений для катодов составляла от100 до 300В. Они работали при давлении мм.рт.ст., которое обеспечивалось непрерывной откачкой. Ток эмиссии одного острия находился в пределах от 50 до 150 мкА. Полный ток с 100-острийного катода достигал 5 мА, что соответствует средней плотности тока с катода 8 А/. Для катода с 5000 острий в импульсном режиме был получен ток до 100 мА (плотность тока достигла 12 А/.). Дальнейшее увеличение тока с катода было невозможно, поскольку анод не был приспособлен для диссипации соответствующего количества энергии.

 Помимо технологии создания тонкоплёночных катодов, были приведены результаты подробного исследования их характеристик; прежде всего эмиссионных характеристик, стабильности работы, шумовых свойств.

 Важнейшими параметрами автоэмиссионных катодов являются коэффициент усиления поля на поверхности острия и эффективная площадь эмиссии. Коэффициент усиления поля β связывает напряжённость электростатического поля на поверхности острия с приложенным напряжением.  (\*)

Если пренебречь влиянием пространственного заряда эмитированных электронов, то такая связь должна быть линейной, поэтому коэффициент β зависит от геометрии системы и от положения точки наблюдения на поверхности острия. Для расчёта β можно использовать приближённые аналитические формулы или численные методы. В качестве примера на рис.5. приведена рассчитанная численно зависимость коэффициента усиления β от полярного угла  для геометрических размеров, соответствующих катоду Спиндта. Как следует из рисунка, поле на поверхности острия практически не уменьшается вплоть до угла и уменьшается примерно на 10% для угла .

  I/

 2.5 1.0

* 1. 0.8
	2. 0.6
1. 0.4

 0.5 0.2

 0.0 30 60 90 

 **Рис.5. Распределение коэффициента усиления поля  и плотности тока эмиссии по поверхности острия.**

**Кривые 1 и 2 соответствуют напряжению 150 – 300В на управляющем электроде.**

На этом рисунке приведены, рассчитанные с использованием закона **Фаулера – Норд гейма, где** плотности тока эмиссии от угла  для напряжений V=150 и 300В. Видно, что основной вклад в автоэмиссионный ток дают точки поверхности, для которых . Угол  можно использовать для определения эффективной площади эмиссии:

 (3)

**где r – радиус скругления острия.**

 Полный ток **е** острия равен:

 (4)

**где - плотность тока, даваемая формулой Фаулера – Норд гейма**

 **для напряжённости поля на поверхности острия .**

 Формулы (3) и (4) совместно определяют эффективную площадь эмиссии и предельный угол . Для корректного определения  необходимо найти - зависимость коэффициента усиления от угла, затем интегрированием вычислить полный ток с острия и воспользоваться формулой (4).

Определённая таким способом эффективная площадь эмиссии зависит от напряжения. Представление о порядке величины площади эмиссии можно получить более просто, если считать, что угол автоэмиссии  соответствует уменьшению коэффициента усиления поля на 10%. Тогда следует определить из графика  такое значение  и воспользоваться формулой (3). В этом случае оценка для эффективной площади, очевидно, не зависит от напряжений. Полученная оценка для обычно не более чем в 2 раза отличается от более строгого расчёта.

Данные рассуждения справедливы в случае атомарно гладкой поверхности острия. Если же на нем существуют микронеоднородности более мелких масштабов, чем радиус скругления острия, то вблизи них электрическое поле дополнительно усиливается. Из-за очень резкой зависимости плотности тока от напряжённости поля, полный ток полностью определяется эмиссией с микро неоднородностями. Эффективная площадь эмиссии в соответствии с формулой (3) имеет порядок , где - характерный масштаб неоднородности.

**Плотность упаковки эмиттеров.**

 Сообщается о том, что достигнута плотность упаковки около . Дальнейшее увеличение этого числа связанно с одновременным уменьшением диаметра отверстия в управляющем электроде и расстоянием между ними. Минимальный диаметр отверстия, полученный ранее равен 0,5мкм и его уменьшение затруднено аберрациями в электронно-оптической системе, используемой для формирования много пучкового электронного потока в установке для электронно-лучевой литографии. Приведём типичные значения физических параметров для катода с 300-ми отверстиями и расстояниями между ними 6.35мкм (плотность острий ). Максимально достигнуто значение тока 12,5мА, при напряжении 130В и среднем токе с острия 40мкА. Это соответствует плотности тока 130А/. Дальнейшее увеличение тока требовало бы специального охлаждения анода. Используя катод с малым числом острий, можно продемонстрировать, что автоэмиссионные катоды способны обеспечить на порядок большую плотность тока. Так, для катода с 16-ю остриями при переменном напряжении с частотой 60Гц, была получена плотность тока в максимуме около 1000А/. Катод работал в таком режиме 100 часов, после чего исследование его поверхности с помощью сканирующего электронного микроскопа показало отсутствие каких-либо видимых изменений и повреждений.

**Время жизни.**

 Приведённые данные свидетельствуют о большой долговечности автоэмиссионных катодов. Непрерывное испытание в вакуумной камере катода со100 остриями продолжалось в течении более чем 8 лет при уровне эмиссии от 20мкА до 50мкА с остриями, и было прервано из-за неисправности ионного насоса. Дальнейшее развитие тонкопленочных катодов связанно, прежде всего, с уменьшением их геометрических размеров и увеличением плотности упаковки, что позволяет достигнуть сразу несколько целей. Уменьшение расстояние остриё-управляющий электрод и уменьшение радиуса острия понижает рабочее напряжение. Одновременно снижаются требования к вакууму, поскольку уменьшается вероятность ионизации и энергия ионов, бомбардирующих катод. Увеличение плотности упаковки эмиттеров увеличивают среднюю плотность тока, которую способен обеспечить автоэмиссионный катод. Увеличиваются такая предельная работа приборов, созданных на основе технологий тонкоплёночного катода.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

 Изготовление катодов Спиндта представляет собой достаточно сложный технологический процесс формирования тонких металлических пленок на базе кремниевой подложки. Автоэмиссионные , катоды с полевой эмиссией могут быть использованы для создания плоских дисплеев и экранов, которые широко применяются для портативных компьютеров и в качестве телевизионных трубок. Однако последние требуют совершенствования методов управления сигналами, которые обеспечиваются быстродействующими микросхемами. Вопрос о том, как сделать приборы и компоненты, имеющие микронные геометрические размеры ( с нанометрическими допусками на эти размеры) продолжает мучить исследователей- разработчиков.

 Современный процесс изготовления микросхем включает многочисленные сверхточные операции формирования сложного рисунка разводки компьютерных микросхем.

 В последнее время появились сообщения о разработках миниатюрных и быстродействующих чипах с низким энергопотреблением. Проводятся исследования в области нанотехнологий. Большинство экспертов считают, что примерно в 2012 году технология кремниевых микросхем достигнет физических и экономических пределов своего развития. Изобретение компании Hewlett-Packard и Калифорнийского университета UCLA предлагает использование простой решетки проводников, размеры которых сравнимы с несколькими атомами, соединенными электронными коммутаторами толщиной в одну молекулу. В проведенных экспериментах ученые «упаковали» решетку в слой толщиной в одну молекулу из электрически коммутируемых молекул под названием «ротаксаны». Затем при подаче электронного сигнала на молекулы, размещенные между проводниками решетки, открылся простой логический вентиль. Это изобретение было названо журналом Technology Review одним из пяти наиболее важных патентов 2000 года. Результаты таких работ доказывают, что в будущем программирование может заменить используемые сейчас точные методы производства компьютерных микросхем. После сборки базовой решетки с помощью программирования можно реализовать очень сложную логическую схему, выставив электронными сигналами нужные коммутаторы в молекулярной структуре.

 Так в августе прошлого года появились сообщения корпорации IBM (компания Intel) о создании самой маленькой логической схемы на основе двух транзисторов, построенных из отдельной молекулы углерода. Новый транзистор с шириной затвора 15 нанометров и напряжением питания 0,8В изготавливается по CMOS- технологии, имеет время срабатывания 0.38 пикосекунды, то есть может совершать 2,63трлн. Переключений в секунду. Как ожидается, новый 0,15 –нм транзистор станет основным элементом при разработке высокоскоростных микросхем.

При конструировании этой схемы использовалась нанотрубка углерода - материал, который в 100 раз тоньше человеческого волоса. «Эта работа впервые продемонстрировала возможность использования молекул в качестве электронных устройств, для логической схемы компьютера», - заявил господин Хит, профессор химии университета UCLA и директор Калифорнийского института наносистем.

Углерод, по мнению исследователей IBM, позволит заменить кремний и даже сможет выполнить больше функций, однако компания пока не планирует использовать нанотехнологии в собственных устройствах. Многообещающими областями применения углеродных нанотехнологий в ближайшем будущем прогнозируется электромагнитная экранировка, а также производство плоских дисплеев для телевизоров, компьютеров и других высокотехнологичных устройств. Помимо сложности создания нанотранзисторов, использование их в массовом производстве пока не выгодно из-за значительной дешевизны кремниевых аналогов. В целом исследователи склоняются к тому, что кремниевые и нанотехнологии не конкурируют, а скорее дополняют друг друга.

**Список литературы:**

1. **Мандельштам Л.И. Лекции по теории колебаний.**

**М.: Наука, 1972.**

**2. Коржуев А.В. // Физика в школе. 1995.№3.С.66.**

**3. Гамов Г.А. Моя мировая линия: Неформальная автобиография. М.: Наука, 1994**

**4. Лекции по сверхвысокочастотной вакуумной микроэлектронике. Трубецков Д.И., Рожнев А.Г.. 1996.**

1. **Электронно-оптические системы с сеточным управлением. Григорьев Ю.А., Правдин Б.С. 1987.**
2. **Лабораторный практикум по физике. Барсуков К.А., Ухамов Ю.И. 1988.**
3. **Адрес в Internet** www.CNews.ru