

Электронные эмиссии

Явление выхода электронов из твердого тела или газовой плазмы в вакуум или газ называется «электронной эмиссией». Эмиссии делятся на эмиссии с предварительным воздействием и без него.

Существует несколько видов эмиссий, различающихся факторами, которые их вызывают.

Основные из них следующие:

1. **термоэлектронная** - с предварительным воздействием.
2. **фотоэлектронная** - с предварительным воздействием.
3. **вторичная**, вызываемая потоком электронов, падающим на поверхность твердого тела - с предварительным воздействием.
4. **автоэлектронная /электростатическая/**, вызываемая действием электрического поля; - без предварительным воздействием.
5. **ионно-электронная**, вызываемая действием потока ионов на поверхность твердого тела. К этому виду близки по своей природе эмиссии, возникающие под действием быстрых нейтральных невозбужденных атомов и возбужденных, в частности, метастабильных атомов; - с предварительным воздействием.
6. **экзоэлектронная /послеэмиссия/**, протекающая определенное время после воздействия на твердое тело света, рентгеновского излучения, потоков заряженных частиц, механических напряжений, вызывающих деформацию - с предварительным воздействием.
7. **химическая**, протекающая при химических реакциях. Иногда этот вид эмиссии относят к экзоэлектронной;
8. **эмиссия электронов из газовой плазмы в вакуум**. Плазма может быть образована в электрическом разряде в газах, разрядах на поверхности диэлектрика или полупроводника, при действии лазерного излучения на твердое тело, а также при взрывах тонких металлических острий или проволок. В последнем случае возникающую эмиссию называют взрывной.

В ряде случаев некоторые эмиссии протекают одновременно. Например, при действии тлеющего разряда на катод одновременно возникает четыре вида эмиссии: ионно-электронная, фотоэлектронная и эмиссии под действием возведенных и быстрых невозбужденных атомов. Комбинацию вторичной электронной эмиссии и эмиссии, возникающей в результате действия сильного электрического поля в тонком слое диэлектрика или полупроводника называется эффектом Мальтера.

Большое значение в явлениях, предшествующих пробое вакуума, имеет комбинированная термоавтоэлектронная эмиссия с тонких микроострий катода.

Можно было бы еще привести подобные примеры одновременного протекания нескольких видов эмиссий при электрических явлениях в газах и вакууме.

Факторы, возбуждающие эмиссию, приводят к появлению в твердом теле группы быстрых электронов, которые могут преодолеть потенциальный барьер на границе твердого тела и выйти в вакуум или газ. Это относится к большинству видов эмиссий из твердого тела. И лишь в случае автоэлектронной эмиссии начальное распределение электронов в твердом теле не изменяется, а электрическое поле сильно влияет на форму потенциального барьера на границе твердого тела, чем и вызывается эмиссия.

Термоэлектронная эмиссия

Испускание электроном телом при высоких T открыта в 1900 г. Ричардсоном.

Согласно электронной теории свойства металлических тел объясняются наличием в них оторванных от атомов электронов, передвигающееся по всему объему металла со средней скоростью хаотического движения, соответствующей температуре металла. Положительные ионы, образовавшиеся при отрыве от атома валентного электрона, образуют кристаллическую решётку металла. Их тепловое движение сводится к колебаниям около положения равновесия в узлах решетки.

Когда электрон в металле подлетает к границе между металлом и вакуумом, силы действующие на электрон, направлены, внутрь металла и мешают электрону вылетать в вакуум. Однако, если скорость движения электрона достаточно велика, он будет в состоянии преодолеть задерживающую его силу и вылетит из металла. Чем выше температура металла, тем больше число электронов, способных проникнуть через границу металла в вакуум, тем больше термоэлектронная эмиссия. Этот процесс аналогичен процессу испарения жидкости: Столько те молекулы переходят из жидкой фазы в газообразную, которые обладают достаточно большими скоростями. Плотность насыщенного пара устанавливается такая, что число молекул, вылетающих из жидкости, равно числу возвращающихся обратно в жидкость. При термоэлектронной эмиссии происходит такое же явление: если электроны не удаляются от поверхности металла электрическим полем, то «электронный газ», образуемый выходящими с поверхности металла свободными электронами, насыщен (вследствие беспорядочного теплового движения столько же электронов возвращается в металл за 1 сек, сколько их выходит из металла). Жидкость при испарении охлаждается. Такое же охлаждение происходит и в случае раскаленной, эмитирующей электроны нити при удалении электронов внешним полем.

С помощью квантовой статистики получают следующее выражение для плотности тока j электронов, **эмитированных** из металла с работой выхода $e\phi_A$ находящегося при температуре T : (плотность тока - ток с единицы поверхности катода)

$$j = AT^2 e^{-\frac{e\phi_0}{KT}}, \quad j = \frac{4\pi m e k^2}{h^3} T^2 e^{-\frac{e\phi_0}{KT}}$$

где:

j - плотность тока,

$e\phi_0$ - работа выхода при $E = 0$,

e - заряд электрона,

m - масса электрона = $9,107 \cdot 10^{28}$ элг сек.,

h - постоянная Планка $6,55 \cdot 10^{-27}$ эрг сек.,

K - постоянная Больцмана $K = \frac{R}{nV}$

R - универсальная газовая постоянная $8,313 \cdot 10$ эрг/град.

nV - постоянная Авогадро - число частиц в одном моле газа $6,064 \cdot 10^{-5}$

$K = 1,37 \cdot 10^{-16}$ эгр/град, или $8,6 \cdot 10^{-5}$ эВ/град /кельвина/

$$A = \frac{4\pi m e k^2}{h^3} \quad - \text{ постоянная Зоммерфельда}$$

Обозначая первый сомножитель отметим, что он содержит одни постоянные

величины и ряд общих констант m, e, k, h без величин характеризующих данный металл

$A = 120,4 \text{ А/см}^2\text{град}^2 = 1,2 \cdot 10^6 \text{ А/(м}^2\text{град}^2)$ получаем:

$$j = AT^2 e^{-\frac{e\phi_0}{KT}} = AT^2 \exp\left(\frac{e\phi_0}{KT}\right)$$

Это формула Ричардсона-Дешмана.

Плотность тока зависит от T и ϕ . Чем выше T , тем больше электронов способно покинуть металл. С увеличением T - j резко возрастает. $T \approx 600 \div 3000 \text{ }^\circ\text{C}$

В формулу для плотности тока, после экспериментального изучения термоэмиссии, введен дополнительный множитель D , который призван

$$j = A_0 D T^2 \exp\left(\frac{e\phi_0}{KT}\right) \quad D - \text{проницаемость (прозрачность) барьера.}$$

учитывать существующее по квантовой механике отражение электронов от потенциальной стенки. Фактически коэффициент учитывает отклонение реального закона эмиссии от теоретического.

Если в этой формуле поделить обе части на T^2 и прологарифмировать, то получим линейную зависимость

$$j = AT^2 * 10^{-\frac{5040\phi}{T}}, \quad \lg j / T^2 = f\left(\frac{5040}{T}\right) - \text{прямая Ричардсона}$$



Если измерить j для различных T и построив прямую по экспериментальным полученным точкам можно определить работу выхода как тангенс угла наклона прямой к оси

абсцисс - $\lg \phi = \frac{e\phi}{K}$

а отсечка оси ординат продолжением прямой Ричардсона равна $\lg A$

На опыте найдены следующие величины A :

W - $A = 75 \cdot 10^4$

Ta - $A = 60 \cdot 10^4$

Mo - $A = 66 \cdot 10^4$

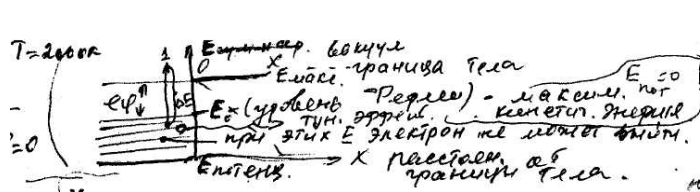
$$\left[\frac{A}{\text{м}^2\text{град}^2} \right]$$

- составляет примерно 1/2 от теоретического значения. Это связано с влиянием примесей и дефектов поверхностей.

Величина D для чистых тугоплавких металлов оказалась равной $\sim 0,5$.

Для сложных полупроводниковых катодов A и D - значительно отличаются от этих величин.

Внутри твердого тела электроны могут двигаться свободно, но они связаны с твердым телом электростатическими силами, препятствующими выходу электронов из тела через поверхность. Эту ситуацию можно трактовать так, как будто они находятся в потенциальной яме.



h - постоянная Планка - $6,625 \cdot 10^{-27}$ Дж·с / эВ
 m_e - масса электрона $9,107 \cdot 10^{-31}$ кг
 n_e - конц. электр.

Максимальная кинетическая энергия электронов при $T = 0$, равная

$$E_0 = \frac{h^2}{2m} \left(\frac{3n_e}{8\pi} \right)^{3/2}$$

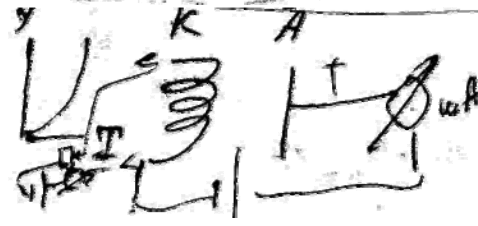
называется граничной энергией Ферми. Электроны плотно заполняют энергетические состояния от "дна" ямы дно E_0 . Очевидно, легче всего вырвать из металла самый быстрый электрон, находящийся на самом верхнем уровне. Необходимая для этого минимальную энергию

$e\phi = |E_{\text{max}}| = |E_{\text{пот}}| - E_0$ - называется работой выхода, её можно

рассматривать как энергию связи электрона в теле. Работа выхода различных материалов имеет порядок нескольких электрон-вольт. Из чистых металлов наименьшей обладает цезий, $\phi = 1,87$, самой большой - платина, $5,32$ эВ.

элемент	$e\phi$ эВ
C	4,7
Al	4,25
Fe	4,31
Ni	4,5
Cu	4,4
Mo	4,25
Ba	2,49
Ni	4,50

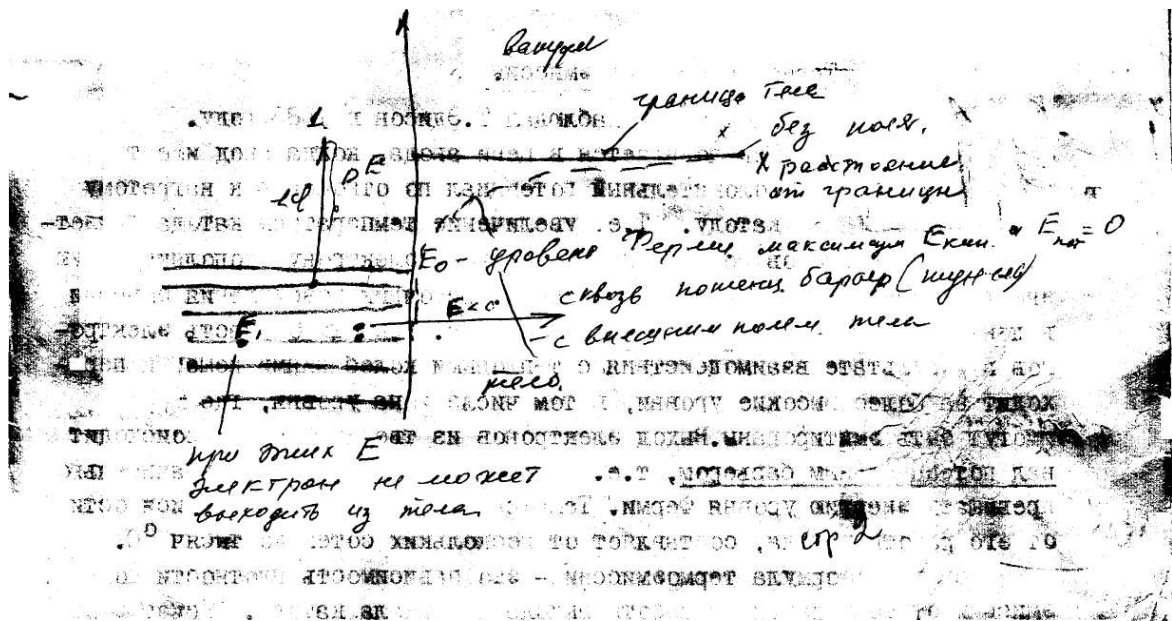
Для данного материала величина ϕ приблизительно постоянна, она зависит от состояния поверхности, ее чистоты, шероховатости. У монокристаллов она меняется от грани к грани в пределах 1эВ. Таблица относится к поликристаллическим материалам. Одним из способов сообщить поверхностному электрону необходимую энергию состоит в повышении в повышении температуры материала. При этом появляются достаточно быстрые электроны, которые благодаря своей кинетической энергии могут преодолеть силу притяжения к телу. Так возникает термоэлектронная эмиссия.



Впервые ее наблюдал Т.Эдисон в 1883 году. Так появляется в цепи анода, когда анод имеет положительный потенциал по отношению к нагретому катоду. Т.е. увеличение температуры катода является одним из способов сообщить поверхностному электрону

дополнительную энергию достаточную для выхода из тела. Источник возбуждения эмиссии в данном случае - тепловая энергия решетки. При $T > 0$ часть электронов в результате взаимодействия с тепловыми колебаниями решетки переходит на более высокие уровни, в том числе и на уровни, где $E_{\text{внутр}} \neq 0$ т.е. электроны могут быть эмитированы. Выход электронов из твердого тела происходит, над потенциальным барьером, т.е. энергия электрона должна значительно превышать энергию уровня Ферми. Температура источника, в зависимости от его работы выхода, составляет от нескольких сотен до тысяч °С.

Основная формула термоэмиссии - это зависимость плотности тока эмиссии от температуры и работы выхода материала катода.



Заметное влияние на термоэмиссию оказывает окружающий газ, который может адсорбироваться как примесь или повреждать поверхность при распылении катода (выбивание частиц электрода под действием ударов ионов).

торий, цезий \oplus ; Воздух, кислород, галогены \ominus

материал эмиттера	ϕ эВ
Fe	4,6
✓ W	4,52
Ni	4,13
+ Mo	4,22
Ti	4,09
Ba	2,52
Cs	1,9
W-Th	2,6
W-Cs	1,4
ОКСИДНЫЙ КАТОД	
W-OaO	1,1
КИСЛОРОДНО-ЦЕЗИЕВЫЙ КАТОД	0,75
Mo-O ₂ электролиз	5,5-5,7

Влияние адсорбции электроположительных атомов тория, бария, цезия на ϕ подложки объясняется поляризацией этих атомов на поверхности металла. Образование двойного слоя зарядов изменяет форму потенциального барьера, понижая ϕ и увелич. j . Из таблицы видно, что в случае адсорбции тория на вольфраме работа выхода понижается в среднем на 1,9 эВ, а в случае адсорбции цезия на вольфраме - на 3,1 эВ.

Адсорбция электроотрицательных атомов таких как кислород, галогены, углекислый газ и другие, приводит к увеличению работы выхода. В этом случае электрическое поле двойного слоя зарядов препятствует выходу электронов. Работа выхода

металла подложки при адсорбции, например, кислорода, увеличивается на 1,5 - 2 эВ.

Приведенные в таблице величины ϕ относятся к поликристаллической структуре поверхности металлов. Для различных граней монокристаллов работа выхода значительно отличается. Например, для вольфрама величины ϕ составляют в зависимости от грани от 5,35 до 4,32 эВ.

Наибольшие значения ϕ получаются для наиболее плотноупакованных

граней монокристалла.

	110	112	100	111	Поликристалл
W	5,35	4,8	4,6	4,4	4,5
Mo	5,00	4,55	4,4	4,1	4,25
	4,8	4,3	4,15	4,0	4,1

Работа выхода характеризует структуру поверхности. Она тем больше, чем плотнее расположены атомы на этой поверхности.

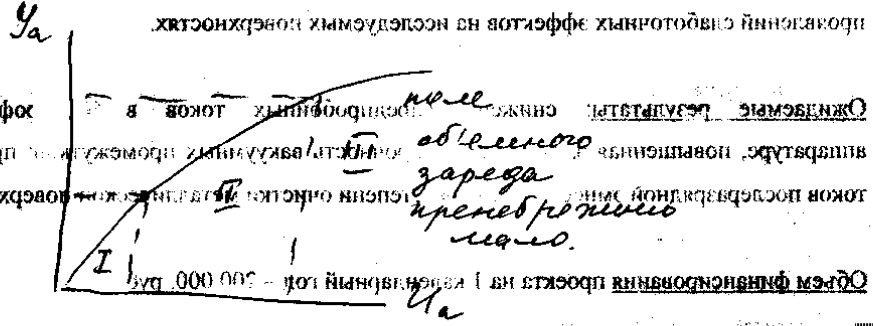
Для монокристаллов различны не только ϕ , но и теплоты испарения атомов и ионов, адсорбция и десорбция чужеродных атомов, миграция их по поверхности на равных гранях.

Если говорить о сплавах, то для некоторых, например работа выхода меньше, чем для его компонентов.

С увеличением работы выхода, при неизменной температуре, эмиссия резко уменьшается. Но если вместе с увеличением работы выхода увеличивать температуру, то можно получить достаточный ток эмиссии и с чисто металлических катодов, имеющих высокую работу выхода (W, Mo, Ta, Re), максимальная температура термоэлектронного катода ограничивается его испарением.

Вывод из работы Рундмана следует в предположении, что поверхность катода однородна и электронный газ в нем находится в состоянии термодинамического равновесия. Это равновесие нарушается отбором тока:

1. - с катода эмиссия электронов,
 2. - в объеме - движение заряженных частиц в поле электродов, а также в поле, созданном самим зарядом катодом.
3. - анод может быть покрыт вторичной эмиссией электронов и может рентгеновое излучение



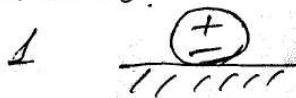
- I - область малых U_a . ток ограничен полем облученного заряда, при этом $U_a \gg kT, j \sim U_a^{1/2}$ облученной заряд электронов уменьшается напряженность поле у катода.
- II. область токов насыщения. U_a не зависит от U_a , чем при линейной зависимости.
- III. поле облученного заряда катодом мало $\lg j \sim U_a^{1/2}$

Заметное влияние на термодинамическое состояние
 окружающей среды оказывает азот, который способен адсорбироваться
 как металл.

Если на поверхности твердого тела
 адсорбирован (адсорбирован) атом азота,
 то он не является нейтральным,
 как свободный атом.

Деформация электронной оболочки атома
 всегда имеет характер поляризованного атома,
 обращенного в дупель.

В зависимости от химической природы
 адсорбированного атома и поверхности металла
 электронная оболочка атома может
 втягиваться в металл или наоборот отталки-
 ваться.

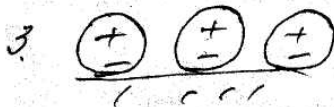


Выталкивает электрон, когда
 положительный заряд дупели
 удален от металла, а отри-
 цательной притягивает к металлу.

таким атом как электронно-отрицательный
 имеет заряд, заряд — уменьшается φ .



Обратная картина — уменьшается φ .
 металл, уменьшает заряд — убавляет φ .
 атом электроотрицательный
 отталкивает металл —
 препятствует выходу электрона.



Если на поверхности
 адсорбированной слои, то
 суммарное действие всех атомов можно
 заменить действием двойного электри-
 ческого слоя. Электрическое поле
 отсутствует. — вне этого слоя.

Группы же этого слоя поле действует
 на электроны:

выталкивающее — при электроотрицательном
 атоме.

препятствует выходу — при электроотри-
 цательном.

$W - 4,52 \text{ эВ}, 2,3,1 \text{ эВ}$
 $W - C_2 - 1,4 \text{ эВ}$
 асимметрич.
 газос.

$M_0 - 4,2 \text{ эВ} > 4,5 \text{ эВ}$
 $M_{0a} - 5,7 \text{ эВ}$

На состояние электронного газа в металле должно сказывается наличие электрического поля, существующего внутри эмиттера при прохождении через него тока.

Термоэмиссия не имеет истинного насыщения и непрерывно возрастает при увеличении электрического поля у поверхности катода. Внешнее электрическое поле понижает потенциальный барьер и работу выхода. Объяснение этому дал Шоттки. При отсутствии внешнего поля вылетают те электроны, которые при приближении их к поверхности обладают кинетической энергией, равной или большей ϕ . В случае действия электрического поля ускоряющего движение электрона, запас кинетической энергии электрона для выхода из металла должен быть меньше, т.е. при наличии внешнего поля ϕ электрона меньше на величину

$$e\sqrt{eE}$$

Или, с учетом действия электрического поля получают, что работа выхода равна: $e\phi_E = e\phi_0 - e\sqrt{eE}$; $e\phi = 3.8 \cdot 10^{-4} \cdot E^{1/2}$

Теперь, если в формулу для термоэлектронной эмиссии вместо $e\phi_0$ подставить полученное соотношение, то получим:

$$j = AT^2 e^{-\frac{e\sqrt{eE}}{KT}} e^{-\frac{e\phi_0}{KT}}$$

обозначив плотность тока при отсутствии поля j_0 , получаем для полной плотности тока

$$j_0 = 2.33 \cdot 10^{-6} \frac{V^{3/2}}{d^2} \text{ [A/cm}^2\text{]}$$

Таким образом, внешнее электрическое поле понижая потенциальный барьер увеличивает ток эмиссии /эффект Шоттки/.

Применение термоэмиссии.

Электровacuумный прибор – прибор, в котором рабочее пространство изолированное газонепроницаемой оболочкой, имеет высокую степень разрежения или заполнено газом.

В соответствии с этим имеются: электронные и ионные приборы. Электровacuумный прибор – это прибор, в котором прохождение электрического тока осуществляется только свободными электронами. Ионный прибор с электрическим разрядом в газе, это газоразрядные приборы.

В рабочем пространстве любого прибора протекают следующие процессы:

- Образование свободных носителей электрического заряда – электронов \ в процессе эмиссии с поверхности твердого тела – катода.
- Создание направленного потока электронов.
- Ток /электронный/ измеряется в цепи анода.

Термокатоде имеют следующие параметры:

- Рабочая температура $T_{раб}$ – наибольшая T при которой катод может, длительно работать.
- Удельная эмиссия – отношение тока эмиссии J_e к площади

эмитирующей поверхности S при $T_{\text{раб}}$

$$J = \frac{J_e}{S}$$

Если температура распределена по катоду равномерно, то удельная эмиссия равна плотности тока.

- Экономичность или эффективность - отношение тока эмиссии J_e к мощности накала катода P_H , необходимой для поддержания эмиссии:

$$\frac{J_e}{U_H J_H} = H = \frac{J_e}{P_H} \left[\frac{\text{mA}}{\text{Вт}} \right]$$

- Долговечность катода или срок службы - время, за которое ток эмиссии уменьшится на 20

Представляют интерес и такие свойства как: пористость, поверхностный рельеф, распределение эмиссии по поверхности, стабильность эмиссии при высоких U_a , устойчивость к ионной бомбардировке и отравляющему действию остаточных газов.

Разработано большое число термокатодов, к числу наиболее распространенных можно отнести следующие:

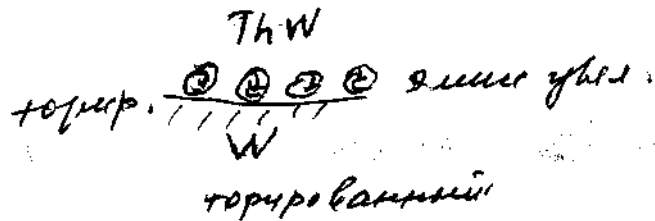
1. Чистометаллические катоды из тугоплавких металлов.

Наиболее распространен катод из вольфрама. Он используется в виде проволок прямых или спирализованных, лент, стержней. Недостатком прямонакаленных катодов является трудность получения больших эмитирующих поверхностей, наличие падения напряжения вдоль катода.

2. Торированный вольфрам.

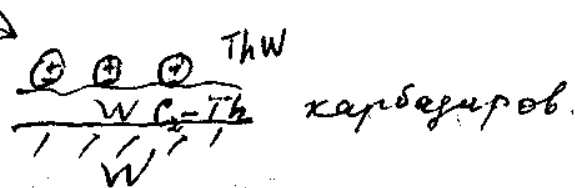
В вольфрам для затруднения рекристаллизации ввели окись тория. При этом обнаружили, что эмиссия стала во много превышать эмиссию из чистого вольфрама. Так при 1500°K увеличилась в $1,8 \cdot 10^5$ раз. Это происходит потому, что при накале до $T > 2600\text{K}$ часть окиси тория восстанавливается в металлический торий. Полное восстановление ThO_2 в Th торий происходит при $T > 2900\text{K}$. Такой прогрев до $T = 2900\text{K}$ - называется активировка катода.

Время активирования зависит от структуры и нити: чем мельче кристаллики в нити, тем быстрее активирование. При активировании атомы тория, возникающие внутри нити в результате восстановления окиси тория, выходят на поверхность. Атомы тория движутся по межкристаллическим стыкам и микротрещинам кристаллов, мигрируя по поверхности граней кристалликов.

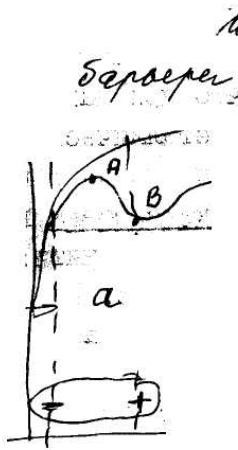


Если катод будет бомбардироваться ионами происходит процесс дезактивирования за счет катодного распыления. Электроотрицательные газы - кислород - отравляет активированный катод - эмиссия уменьшается. Работа выхода такого катода равна $1,9\text{эВ}$.

Его разновидность - торированный карбидированный катод. Такой катод получают прокаливанием вольфрама в атмосфере органических веществ - нафталина, бензола - при $T = 2200\text{K}$. При



этом на поверхности появляется слой карбидов W_2C толщиной до 10 микрон. Работа выхода W_2C примерно равна чистому вольфраму, а ток выше на несколько порядков. Карбидированный вольфрам меньше отравляется O_2 .
Основной недостаток этих катодов - хрупкость.



W-Ba	$\epsilon_{ин}$	$\epsilon_{кап}$	$\epsilon_{кап}$	$\epsilon_{кап}$
4,5	2,5	1,6	1,5 · 10 ⁴	4
W-Ca	4,5	1,9	1,5	3 · 10 ⁴
4,2	3,4	2,6	1,5 · 10 ⁴	

капационного аккумулятора

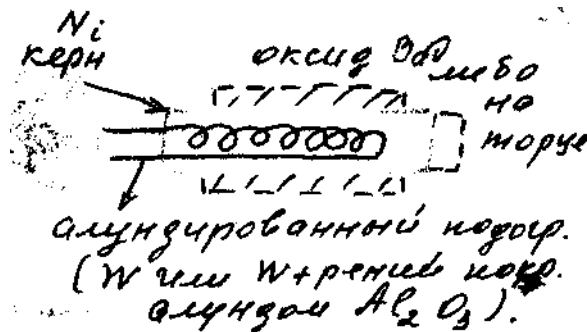
Уменьшение ϵ обусловлено присутствием на поверхности диэлектрического слоя, ускоряющего электрода.

на эту же величину уменьшилась высота капационного барьера, а следов ϵ при локальном покрытии соседних групп окислительной заливкой в среднем групп на группе, уменьшилась диэлектрическая проницаемость 4 кВ. с. уменьшилась диэлектрическая проницаемость на поверхности электрода от электрода.

Пленочные конденсаторы окисленного металла А. Обеспечение барьера, образующегося при барьерной пленке барьера крайних выводов диэлектрической пленки в диэлектрической пленке. Центральная часть пленки окисленного металла, и подпленка барьерной пленки в пленке диэлектрической пленки. Диаметр диэлектрической пленки с термическим эффектом расширения пленки А и В. На водородном окисленном электроде. Таким образом, для окисленного электрода характерно термическое расширение пленки.

2. Оксидный катод.

Имеет малую работу выхода, низкую рабочую температуру 1000-1100°C и высокую экономичность. Катод создается из углекислых солей бария, стронция Sr и в ряде рецептов кальция. (физика работы не до конца ясна).



Оксидный катод состоит из металлической подложки /керна/, покрытой слоем окислов щелочно-земельных металлов. Наилучшими свойствам обладает окись бария. Однако смесь этого окисла с другими окислами металлов той же группы дают ещё большую плотность тока. Так, двойной окисел бария и стронция, содержащий 70% /молекулярных/ стронция и 30%

бария имеет плотность тока в 10 раз больше, чем BaO

На kern наносятся мелкие кристаллики карбонатов Ba и стронция $Sr(CO_3)_2$ с биндером. Карбонаты при прокаливании превращаются в окислы. Выделяющийся углекислый газ откачивается.

Толщина слоя h 30-200 мк. Пористость определяют как $1 - \frac{P}{hd}$

где $d = \left(\frac{m^2}{cm^2} \right)$ - плотность монокристаллов оксида, P - вес покрытия,

hd - толщина слоя.

В зависимости от технологии разделяют: рыхлые покрытия - 80% пористость, плотные покрытия - 20% пористость.

Такое покрытие по своим свойствам близко к диэлектрикам, обладает плохими термоэмиссионными свойствами. Для увеличения термоэмиссии необходимо активирование - т.е. прогрев до 1000°C при отборе эмиссионного тока. В результате этой операции часть молекул бария восстанавливается до металлического бария. Избыточные атомы бария распределяются внутри кристалликов окислов, превращая их в примесный полупроводник (т.е. появляются локальные донорные уровни).

В катодах с активным керном при химических реакциях с присадками на границе оксид-кern образуется химический запорный слой - полупроводниковая прослойка. При прохождении сквозь покрытие термоэмиссионного тока в запорном слое сосредотачивается значительное поперечное падение напряжения, которое приводит к выделению проходящим током джоулева тепла в прослойке и к ее разогреву. Возникновение химического запорного слоя можно избежать, если использовать пассивный kern.

Наружная эмигрирующая поверхность оксидного катода неоднородна. Она имеет сложный геометрический рельеф, в особенности для рыхлых покрытий. Работы выхода для различных участков - различна. Различие зависит от T катода и степени его активирования.

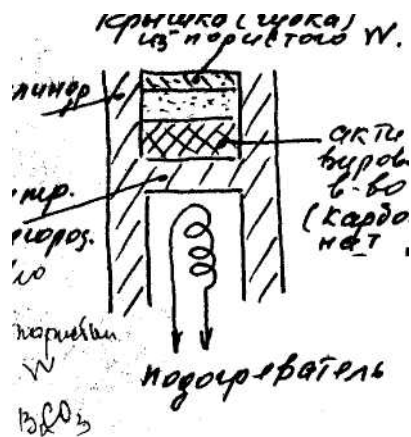
Оксидный катод при работе в импульсном режиме при длительности импульса не более 10 мкс дает плотность эмиссионного тока на 1-2 порядка более высокую, чем в стационарном режиме. При больших достоинствах этого катода он имеет и недостаток, которым заключается в том, что при вынесении его в атмосферу или при разгерметизации прибора катод теряет эмиссию /отравляется/ из-за окисления бария, Восстановить эмиссию при повторной активировке не удастся.

Помимо оксидно-бариевого катода могут быть: оксидно-ториевый ThO_2 Рабочая температура его выше - 1700-1800°C. Преимущества - меньшая чувствительность к остаточным газам, легкость процесса активирования /достаточен кратковременный прогрев до 1700-

1800°C/. В импульсном режиме при 1600°C $j = 4\text{А/см}^2$, при 1800°C $j = 14\text{--}15\text{ А/см}^2$, $\phi = 2,6\text{ ЭВ}$. Скорость испарения при 1800°C 1мк за 60 часов работы.

4. Металло-капиллярный катод /L - катод/.

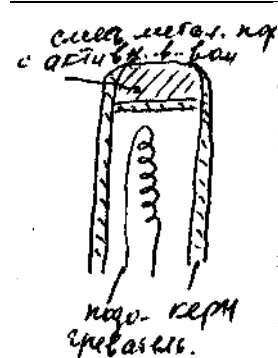
Разработан в 50г в Голландии. /Юдинекая/ Катод таеде основан на использовании соединений бария и стронция, помещенных в небольшую камеру, нагреваемую от специального подогревателя. Объем, заполненный



активным веществом, отделяется от пространства вакуума или газа вольфрамовой губкой, спекаемой из порошка вольфрама при размерах зерен 1,6-2,5 мкм и имеющей многочисленные поры размера 0,8-1,2 мкм. Катод нагревают, карбонаты разлагаются и превращаются в окислы, выделяющий углекислый газ откачивается через W губку. При дальнейшем увеличении T атомы бария и молекулы окиси бария диффундируют по порам W губки и выходят на ее поверхность. Работа выхода поверхности снижается. $T_p = 1200^\circ\text{C}$. Активный слой на поверхности губки, состоящий в основном из атомов бария, при работе катода постепенно

испаряется, но изнутри, через поры губки, происходит непрерывная диффузия новых атомов бария с такой скоростью, чтобы активный слой все время оставался бы одноатомным. Т.к. катод работает при T_p на 200°C более высокой, чем у оксидного, у него плотность тока как в стационарном, так и в импульсном режиме выше. Активированным катод допускает перенос через атмосферу воздуха. Возможно длительное хранение активированного катода в плотно закрытом сосуде с осушенным воздухом. Работа выхода несколько выше, чем у оксидного и составляет 1,5-1,7эВ. Срок службы зависит от количества активатора, помещенного в катод.

5. Прессованный или матричный катод. Этот тип катода был предложен в



начале 50 годов. (Юзом и Копполой) В этом катоде в отличии от метало-капиллярного нет отдельной камеры для активного вещества - оно находится в порах вольфрамовой или никелевой губки. При изготовлении катода смесь порошков материала губки и активного вещества запрессовывается в керна, а затем спекается в вакууме или в атмосфере водорода. Катод получается очень прочным и его можно подвергать различной механической обработке. В качестве активного вещества используется алюминат бария $\text{Ba}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ который при нагреве разлагается на BaO и BaAl_2O_4 .

6. Импрегнированный катод.

Неудобство в изготовлении прессованного катода состоит в необходимости спекания W и алюмината бария, который является легкоплавким соединением. Чтобы обойти эту трудность процесс изготовления изменили. Теперь изготавливается вольфрамовая губка, которая затем пропитывается медью. Медь входит в поры губки за счет капиллярных сил. Таким путем получается механически прочное образование, которое подвергается механической обработке, для придания катоду нужной формы. После этого медь из губки выпаривают прогревом в вакууме. Очищенную губку помещают в жидкий алюминат который заполняет в ней все поры.

Срок службы такого катода зависит от рабочей температура.

7. Боридный катод. (разновидность L-катода)

Этот вид катода изготавливается из боридов щелочно-земельных или редкоземельных металлов, представляющих собой полупроводники.

Особенно распространены катод из гексаборида лантана LaB_6 . Катоды не нуждаются в процессе активировки. Работа выхода составляет 2.7эВ. Боридный катод может давать плотность тока эмиссии в стационарном режиме до 40-50 А/см²; при полях до 10⁶В/см в режиме термоэлектронной эмиссии плотность тока может быть увеличена до 100 А/см². После пребывания на воздухе эмиссионные свойства боридного катода не изменяются, благодаря чему катоды можно переносить из прибора в прибор, а также использовать их в разборных системах. Скорость испарения компонент катода при T=2200°С - 3*10⁻⁶г/см²сек, а при T=1600°С - 10⁻⁹г/см²сек.

Катод	Рабочая температура	$H \frac{mA}{Вт}$ Экономичность	J А/см ²	Срок службы	Примечание
W	2400-2800	2-15	1	1000	
W-Th	1800 1900	30-50	0,5	1000	Торированный
Th-C-W	1900-2100	50-70	25	1000	Карбидированный, Торированный
Оксид	1000-1100	50-20	10-300	1000 10000	В имп.р. 100А/см ²
L-катод	1200-1300	70-80	2-4	1000	В имп.р., 300
LaB ₆	1700-1900	50-70	40-50	1000	В имп.р., 1000