

**НЕКОТОРЫЕ ТЕРМОЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА
РЕКРИСТАЛЛИЗОВАННОЙ РЕНИЕВОЙ ЛЕНТЫ И ПЛЕНОЧНОЙ
СИСТЕМЫ Re-C****А.О.ДАШДАМИРОВ***Бакинский Государственный Университет*

На основе изменений термоэлектронного тока и тока поверхностной ионизации молекул CsCl, а также атомов In, исследована однородность поверхности рения по работе выхода и определены некоторые термоэмиссионные постоянные. Показано, что при переходе от чистой поверхности рения к его пленочной системе (Re-C) постоянная Ричардсона изменяется не так сильно, как для других аналогичных металл-пленочных систем.

Введение

Для рекристаллизации поликристаллических лент или проволок часто используется нагревание переменным током при высоких температурах. Известно, что в высоком вакууме, в течение длительного нагревания, поликристаллические ленты W, Rh, Ir и другие тугоплавкие переходные металлы, превращались в монокристаллические образцы [1]. В [2] показано, что поликристаллическая иридиевая лента с размерами 50x1x0,03 мм при нагревании переменным током ($T \approx 2000\text{K}$) в течение $t=20$ ч. рекристаллизуется и получается плотноупакованная грань (111) с работой выхода 5,8 эВ. В [3] показано, что при длительном нагревании поликристаллической вольфрамовой ленты, формируется грань (100) с работой выхода 4,50 эВ.

Известно, что создавая тонкие слои атомов Cs, Ba, Th и т.д. на поверхности металлов, можно получить эффективные катоды, имеющие низкое значение работы выхода [1]. Обычно, в качестве подложки используются переходные металлы. Для этого в высоком вакууме при высокой температуре поверхность этих металлов очищается от адсорбированных частиц. Потом на чистую поверхность металла осаждаются нужные атомы Ba, Cs и т. д.

Степень однородности связана с фазовыми переходами при адсорбции атомов на поверхность. При исследовании зависимости работы выхода металл-пленочных систем от поверхностных покрытий для Sm, Ba и т.д. не обнаруживается двумерный фазовый переход. А для системы Mo-C, Ir-C, Pt-C, возможно и для других систем, обнаруживается двумерный фазовый переход первого рода. На поверхности молибдена монослойная

пленка получается после образования карбида молибдена [4]. Из вышеуказанного следует, что одной из актуальных задач эмиссионной электроники является получение эффективных эмиттеров с малыми значениями работы выхода. С этой целью в данной работе исследованы эмиссионные свойства рения и рения с поверхностным углеродом.

Анализ поверхности по работе выхода был проведен комбинированными методами термоэлектронной эмиссии (ТЭЭ) и поверхностной ионизации (ПИ) [5,6]. Для одной и той же мозаичной поверхности работа выхода, определенная по ТЭЭ и по ПИ, оказывается разной. Одновременно изучая термоэлектронную эмиссию и поверхностную ионизацию трудно-ионизируемого элемента в условиях компенсированного контактного поля «пятен», можно непосредственно найти величину практической контрастности $\Delta\varphi = \varphi_{\max} - \varphi_{\min}$ эмиттера по работе выхода. В условиях компенсированного контактного поля «пятен», электронный ток в основном идет с тех участков поверхности, где работа выхода минимальна и выражается формулой

$$I^- = A_p^* S T^2 \exp\left[\frac{-e\varphi_G^*}{kT}\right], \quad (1)$$

где

$$A_p^* = \frac{1}{S} \sum A_{pi} S_i \exp\left[\frac{-e(\varphi_i - \varphi_G)}{kT}\right] \quad (2)$$

A_p , S_i , φ_i - соответственно постоянная Ричардсона, площадь поверхности и работа выхода i -го пятна, T -температура эмиттера, S - общая площадь эмиттера, φ_G^* - эффективная или усредненная по электронному току работа выхода.

$$\varphi_G^* = \sum \frac{\varphi_i I_i}{I} \quad (3)$$

После компенсации контактного поля «пятен», эту работу выхода можно найти из наклона зависимости $\ln(I^- / T^2)$ от $1/T$. В случае компенсации контактного поля ионный ток при ПИ согласно [5] определяется по формуле

$$I^+ = e \nu S B^* \exp\left[\frac{e(\varphi_i^* - V + \sqrt{eE})}{kT}\right], \quad (4)$$

где

$$B^* = \frac{B}{S} \sum S_i \exp\left[\frac{e(\varphi_i - \varphi_i^*)}{kT}\right] \quad (5)$$

ν - поток атомов падающий на поверхность с площадью S , $B^* = Q_+ / Q_0$ отношение статических сумм ионного и атомного состояния, S_i -площадь «пятен» с работой выхода φ_i , E - напряженность внешнего электрического по-

ля ускоряющего положительные ионы, T -температура эмиттера, φ_i^* -эффективная или усредненная по ионному току работа выхода

$$\varphi_i^* = \frac{1}{I^+} \sum \varphi_i I_i^+ \quad (6)$$

Когда контактное поле «пятен» компенсировано, ток ПИ трудноионизируемого элемента будет отбираться из «пятен» с максимальной работой выхода. Поэтому из (4) и (6), при $\varphi_i^* \equiv \varphi_{\max}$, значение φ_i^* экспериментально может быть определена из тангенса угла наклона зависимости логарифма $\lg I^+$ тока ионов от $1/T$. Таким образом, исследуя работу выхода поверхности методом ТЭЭ и ПИ, можно определить контрастность поверхности по работе выхода. $\Delta\varphi = \varphi_i^* - \varphi_{\text{э}}^* \cong \varphi_{\max} - \varphi_{\min}$. Для однородных по работе выхода поверхностях $\varphi_{\text{э}}^* = \varphi_i^*$ и $\Delta\varphi = 0$.

Кроме методов ТЭЭ и ПИ анализ поверхности по работе выхода, был проведен качественным методом – электронным эффектом Шоттки. По этому методу, если поверхность не однородна по работе выхода, с увеличением ускоряющего электрического напряжения электронный ток увеличивается, если поверхность однородна по работе выхода, т.е. ток ТЭЭ вне области объемных зарядов фактически не зависит от напряжения.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Эксперименты были проведены в высоко-вакуумной магнитной масс-спектрометрической установке подробное описание которого приведено [7].

Ренневая лента с размерами $50 \times 1 \times 0,02$ мм в начале была поликристаллической, что было доказано наличием аномального эффекта Шоттки. Для получения однородного по работе выхода Re , ленту предварительно рекристаллизировали при переменном токе ($T \approx 2200-2500\text{K}$) в течении $t=30$ ч. Эксперименты показали, что процесс рекристаллизации приводит к ослаблению аномального эффекта Шоттки, который указывает на увеличение однородности работы выхода ренневой ленты. После исчезновения аномального эффекта Шоттки была снята зависимость электронного тока I от температуры ленты. На основе измеренных значений тока и температуры была построена зависимость $\lg I/T^2$ от $5040/T$, приведенная на рис.1. Из наклона прямой для работы выхода было получено значение $e\varphi_{\text{э}} = 5,10 \pm 0,10 \text{эВ}$. Затем для этой же ленты работа выхода определялась по ПИ трудноионизируемого элемента In . В этом случае ($V > \varphi$), ток ПИ выражается формулой

$$I^+ = e \nu S \frac{Q_+}{Q_0} \exp\left[-\frac{e(V - \varphi_i)}{kT}\right], \quad (7)$$

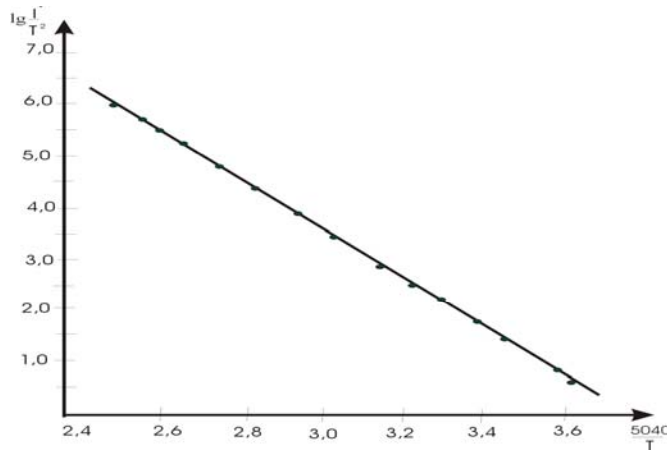


Рис.1. График Ричардсона для грани $(10\bar{1}0)$ чистого рения.

Отсюда

$$\lg I^+ = C - \frac{5040}{T}(V - \varphi_f) \quad (8)$$

где $C = \lg(e \nu S \frac{Q_+}{Q_0})$ постоянная. Сняв зависимость Γ_{in}^+ от температуры пленки,

построили график зависимости $\lg \Gamma_{in}^+$ от $5040/T$, который показан на рис.2. Зная потенциал ионизации атомов In ($V=5,785$ эВ) из наклона этой зависимости получили, что $e\varphi_f^* = 5,00 \pm 0,05$ эВ. Как видно, из полученных значений $e\varphi_{\text{э}}$ и $e\varphi_f$, они равны, т.е. контрастность равно нулю. Это значение работы выхода соответствует плотно упакованной грани $(10\bar{1}0)$ рения, и хорошо согласуется с результатами других работ. Об особенностях графитовой пленки были публикации в ранних работах, здесь мы рассматривали только некоторые эмиссионные параметры пленочной системы $\text{Re}(10\bar{1}0)$ -С. Обычно для определения работы выхода металл-пленочной системы полагают, что постоянная Ричардсона не изменяется и при одинаковых экспериментальных условиях применяют выражение

$$e\varphi = e\varphi_0 - kT \ln \frac{I}{I_0} \quad (9)$$

где $e\varphi_0$, I_0 - работа выхода и ток ТЭЭ для чистого металла, $e\varphi$, I эти же величины для металл-пленочной системы, соответственно. Исходя из этого, для работы выхода грани $\text{Re}(10\bar{1}0)$ с монослоем графита получили значения

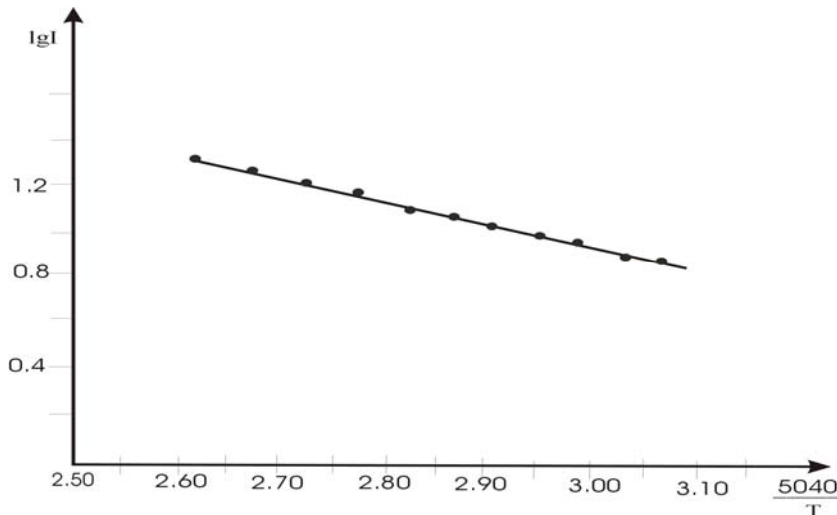


Рис.2. График зависимости $\lg \Gamma_{in}^+$ от $5040/T$.

$e\varphi = 4,40$ эВ, работа выхода системы $Re(10\bar{1}0)$ -С, определяемая по методу прямых Ричардсона, имеет значения $e\varphi_p = 4,40$ эВ. Как видно, работа выхода системы $Re(10\bar{1}0)$ -С, определенная по (9), существенно отличается от работы выхода, найденной по прямым Ричардсона. Это несовпадение нами объясняется изменением постоянной Ричардсона при переходе от грани $Re(10\bar{1}0)$ к грани $(10\bar{1}0)$ Re с монослоем графита. Поэтому для таких металл-пленочных систем при определении работы выхода или же ее изменения по формуле (9) и по методу полного тока нельзя пренебрегать отношением постоянных Ричардсона A_0/A . Учитывая это, получается формула

$$e\varphi = e\varphi_0 - kT \ln\left(\frac{I}{I_0} \cdot \frac{A_0}{A}\right). \quad (10)$$

Для определения отношения постоянных Ричардсона A_0/A нами были использованы графики зависимостей $\lg\left(\frac{I^-}{T^2}\right)$ от $\frac{5040}{T}$ для грани $Re(10\bar{1}0)$ и для грани $(10\bar{1}0)$ рения с монослоем графита (Рис.3). Пересечение экспериментальной линии Ричардсона с осью ординат обычно принимают за логарифм постоянной Ричардсона. По нашему мнению такой подход неправильный. Это возможно, только в случае, когда ТЭЭ ток измеряется со всей эмиттирующей поверхности, то есть, измеряется по методу полного тока. В тех случаях, когда невозможно применить метод полного тока, тогда из прямых Ричардсона снятых в одинаковых экспериментальных условиях, можно найти отношение постоянных Ричардсона A_0/A . При этом постоянные величины которые входят в выражение, в обо-

их случаях сокращаются. Исходя из этого, из прямых Ричардсона при одинаковых температурах, для отношения постоянных Ричардсона, получили значение $A_0/A \sim 1,2$. Для металлических эмиттеров значения A_0 изменяется в широком интервале [1]. Используя значения $A_0 = (160 \pm 40) \text{ A/cm}^2 \text{ град}^2$ для A получили значения $\sim 133 \text{ A/cm}^2 \text{ град}^2$. Отметим, что найденные значения A_0/A при $T = \infty$ тоже совпадает с этим значением, несмотря на то, что при высоких температурах состояние тела бывает неопределенным.

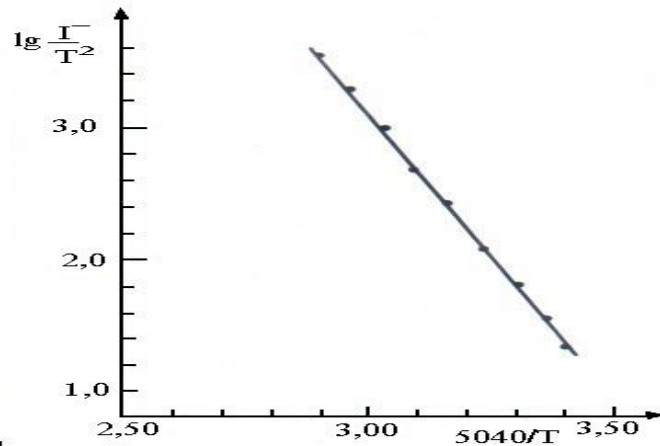


Рис.3.График Ричардсона для грани (10 1 0) рения с монослоем графита.

В интервале температур $1400 \leq T \leq 1800 \text{ K}$ нашли $e\varphi(T)$ и из сравнения Ричардсоновской работы выхода $e\varphi_p = 4,5 \text{ эВ}$, при $T=0 \text{ K}$, определили температурный коэффициент работы выхода грани $(10 \bar{1} 0) \text{ Re}$ с монослоем графита по формуле

$$\alpha = \frac{\varphi(T) - \varphi_p(0)}{T}, \quad (11)$$

и было найдено значение $\alpha = (1,95 \pm 0,10) \cdot 10^{-4} \text{ В/К}$.

Из температурной зависимости тока ПИ атомов индия на грани $(10 \bar{1} 0) \text{ Re}$ производилась оценка температурного коэффициента работы выхода грани $(10 \bar{1} 0) \text{ Re}$. В широком интервале температур $1400 \leq T \leq 2300 \text{ K}$ ток поверхностной ионизации атомов индия I^+ от температуры не зависел, что свидетельствует о малой величине температурного коэффициента работы выхода грани $(10 \bar{1} 0)$ рения. Принимая, что ошибка измерения тока ПИ ионов In составляет 1% от измеряемой величины тока, произвели оценку температурного коэффициента работы выхода грани $(10 \bar{1} 0)$ рения. Предполагая, что с увеличением температуры работа выхода грани $(10 \bar{1} 0)$ рения увеличивается, из выражения токов при $\varphi_{r(111)} \approx V_{in}$,

$T=1400$ К и $T=2300$ К произвели оценки температурного коэффициента работы выхода грани $(10\bar{1}0)$ рения и получили значения $\alpha \approx 3 \cdot 10^{-6}$ В/К. Поэтому можно считать, что температурный коэффициент работы выхода грани $(10\bar{1}0)$ рения $\alpha \leq 10^{-5}$ В/К, и он приблизительно на один порядок меньше, чем для грани $(10\bar{1}0)$ Re с монослоем графита .

ЛИТЕРАТУРА

1. В.С. Фоменко. Эмиссионные качества материалов. Справочник. Киев, Наукова Думка, 1981, стр.338.
2. Э.Я. Зандберг, А.Я. Тонтогоде. Работа выхода грани (III) иридия. ФТТ., 1970, том12, №4, стр.1124-1127.
3. М.В. Логинов, М.А. Мицев. Поверхностная ионизация молекул KCl на вольфраме. ЖТФ, 1975, том 45, №11, стр.2406-2409.
4. А. Ya. Tontogode. Carbon on Transition Metal Surfaces. Progress in Surfaces Science, vol.38, Nr3/4, p. 201-429.
5. Э.Я. Зандберг, Н.И. Ионов. Поверхностная ионизация. Москва, Наука, 1969, стр. 432
6. Л.Н. Добрецов, М.В. Гомоюнова. Эмиссионная электроника. Москва, Наука, 1966, стр.546
7. А.К. Оруджов. Изучение начальной стадии образования двумерных островков графита на Ir(III). Вестник Бакинского Университета, серия физика-математика, 1998, №2, стр.86-92

REKRİSTALLAŞMIŞ Re VƏ Re-C TƏBƏQƏLİ SİSTEMİNİN BƏZİ TERMOEMİSSİYA XASSƏLƏRİ

A.O.DAŞDƏMİROV

ANNOTASIYA

Termoelektron emissiyası (TE), CsCl molekullarının və In atomlarının səthi ionlaşması metodundan istifadə edərək Re səthinin çıxış işinə görə birincins olması öyrənilmiş və bəzi termoemissiya sabitləri tapılmışdır. Göstərilmişdir ki, Riçardson sabiti təmiz Re-dən Re-C sisteminə keçdikdə başqa analogi M, M-C sistemlərindən fərqli olaraq az dəyişir.

SOME OF THE TERMOEMISSION PROPERTIES OF MONOCRYSTAL Re RIBBON AND Re-C FILM SYSTEMS

A.O.DASHDAMIROV

ABSTRACT

The homogenous on work function of the Re ribbon have been studied by using the methods of the termoelektron emission (TE) and surface ionization (SI) of the molecules CsCl and In atoms. It is shown that the constant of Richardson for pure surface of Re and for Re-C system differs not strongly than analogical metal systems.