

О ВЛИЯНИИ РАБОТЫ ВЫХОДА НА ВТОРИЧНУЮ ЭЛЕКТРОННУЮ ЭМИССИЮ МЕТАЛЛОВ

И. М. Бронштейн, Я. М. Щучинский

Как известно, вторичная электронная эмиссия характеризуется: 1) коэффициентом вторичной электронной эмиссии (квээ) $\sigma = \frac{i_2}{i_1}$, i_2 и i_1 — соответственно вторичный и первичный токи; 2) распределением вторичных электронов по энергиям.

Энергетический спектр вторичных электронов в основном состоит из двух частей: медленных вторичных электронов с энергиями 0—50 эв; неупруго и упруго рассеянных первичных электронов.

Можно считать установленным [1], что квээ σ слабо зависит от изменения работы выхода мишени. Так, например, как показано далее, при адсорбции бария на вольфраме σ меняется на 30—40%. Такое слабое изменение σ (в отличие от фото- и термоэмиссии), по-видимому, объясняется тем, что вторичные электроны обладают в среднем энергиями, сравнимыми или большими, чем работа выхода мишени.

Вопросу влияния работы выхода на энергетический спектр вторичных электронов посвящены лишь две экспериментальные работы [2, 3]. В них показано, что при адсорбции атомов электроположительных металлов на металлических подложках максимум кривой распределения медленных вторичных электронов по энергиям смещается в сторону меньших энергий. Однако контактные разности потенциалов мишень—коллектор не измерялись, напыление слоев производилось на мишень, находившуюся в центре сферы, служившей коллектором, и не учитывались возможные искажения вследствие наличия третичных электронов, идущих с коллектора [4]. Поэтому выводы о влиянии работы выхода на распределение медленных вторичных электронов по энергии не вполне обоснованы.

Теоретически вопрос о влиянии работы выхода металлов на кривую распределения медленных вторичных электронов по энергиям рассмотрен А. Е. Кадышевичем [5] и установлено: а) с уменьшением работы выхода максимум кривой распределения медленных вторичных электронов должен сдвигаться в сторону меньших энергий; б) полуширина его должна уменьшаться; в) его положение не должно зависеть от энергии первичных электронов в достаточно широком диапазоне энергий последних.

Цель настоящей статьи — исследование влияния изменения работы выхода мишени на коэффициент вторичной эмиссии σ и кривые рас-

предела медленных вторичных электронов по скоростям. Определялось изменение работы выхода мишени по мере адсорбции на ней атомов бария и учитывалась контактная разность потенциалов мишень—коллектор.

Методика и техника эксперимента. Экспериментальный прибор (рис. 1) состоял из двух частей: сферического конденсатора, в котором производились измерения; длинной цилиндрической трубы с отростками для молекулярных пушек и электронной пушки для определения изменения работы выхода.

В измерительной части прибора находилась сферическая молибденовая антидинаatronная сетка проницаемостью около 90%. Она служила для подавления третичных электронов, идущих с коллектора. Электронная пушка ЭП-1 измерительной части прибора давала хорошо сфокусированный пучок первичных электронов в диапазоне энергий 20—3000 эв.

В одном из отростков второй части прибора помещалась электронная пушка ЭП-2, которая давала хорошо сфокусированный пучок медленных электронов с энергиями 6—10 эв [6]. Эта пушка позволяла методом Андерсона [8] по сдвигу вольтамперных кривых определять изменения работы выхода мишени *M*.

Мишень была изготовлена в виде цилиндрической коробочки из тантала высотой 10 мм и диаметром 15 мм. Нижнее доннышко, которое являлось подложкой, изготовлялось из листового вольфрама толщиной 0,1 мм и для улучшения сферичности поля вблизи мишени имело форму шарового сегмента высотой 2,2 мм. Мишень крепилась на молибденовом стержне диаметром 2 мм, на другом конце которого находился стальной цилиндр, запаянный в стеклянной ампуле. Мишень передвигалась с помощью электромагнита. В крайнем правом положении она обезгаживалась. Мишень могла устанавливаться против молекулярных пушек *МП* (где на нее наносились слои бария), электронной пушки *ЭП-2* (с помощью которой можно было измерять изменение контактной разности потенциалов мишень—катод) и, наконец, в центре сферы (где измерялись коэффициенты вторичной электронной эмиссии и энергетический спектр медленных вторичных электронов).

Сферическая часть прибора помещалась между двумя катушками Гельмгольца для компенсации земного магнитного поля. Коэффициент вторичной электронной эмиссии измерялся двумя гальванометрами ГЭС-47 чувствительностью порядка 10^{-10} а/мм·м. Для снятия токовых характеристик при определении изменения работы выхода мишени использовался один из этих гальванометров.

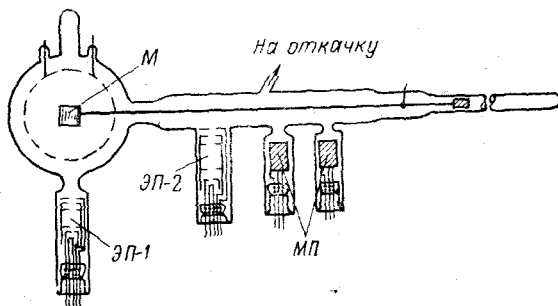


Рис. 1. Экспериментальный прибор

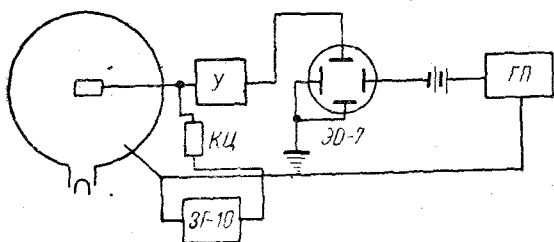


Рис. 2. Блок-схема дифференцирующего устройства:

У — резонансный усилитель; КЦ — компенсирующая цепочка; ГП — генератор пилообразных импульсов; ЗГ-10 — звуковой генератор; ЭО-7 — осциллограф

Кривые распределения вторичных электронов по энергиям получались с помощью дифференцирующего устройства (рис. 2). Принцип работы схемы следующий.

Генератор пилообразных импульсов ГП (рис. 3) подавал на коллектор задерживающий потенциал. Длительность импульса 3 сек.

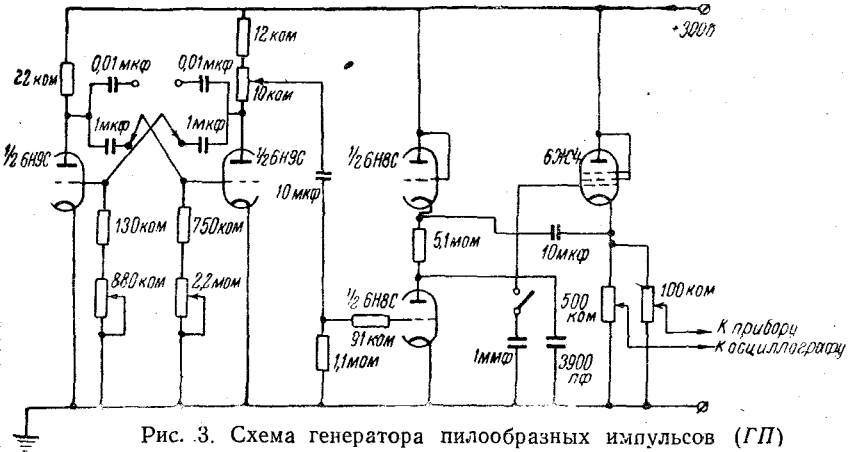


Рис. 3. Схема генератора пилообразных импульсов (ГП)

амплитуда импульса порядка 100 в. Задерживающее напряжение модулировалось синусоидальным сигналом с амплитудой 0,1—0,5 в и частотой 1000 гц, который снимался с звукового генератора ЗГ-10. Перемен-

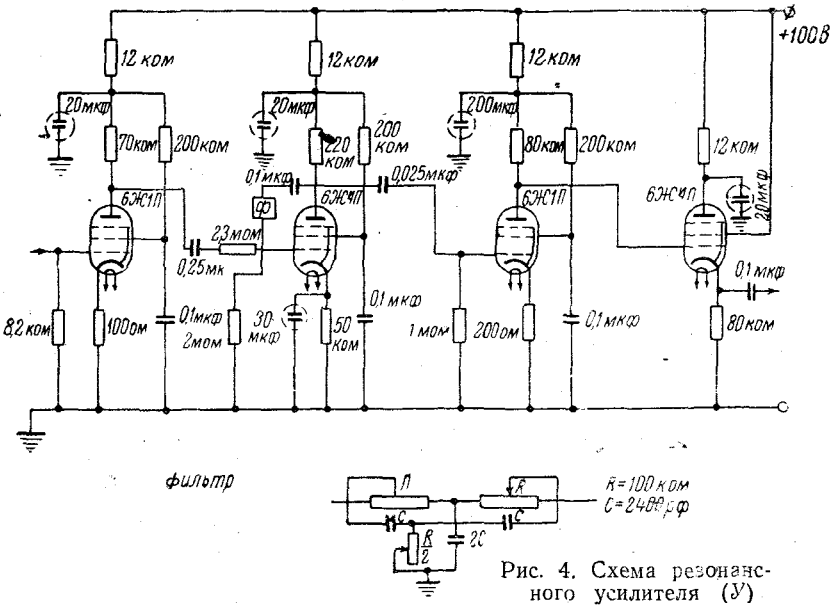


Рис. 4. Схема резонансного усилителя (У)

ная составляющая вторично-эмиссионного тока, которая измерялась в цепи коллектора, пропорциональна первой производной кривой задержки. Таким образом, регистрируя изменение амплитуды переменной составляющей тока вторичной эмиссии во времени, можно получить кривую, характеризующую изменение первой производной кривой задержки, т. е. продифференцировать последнюю. Это, как известно, дает распределение вторичных электронов по энергиям.

Для выделения и усиления переменной составляющей вторично эмиссионного тока служил специальный резонансный усилитель $У$ (рис. 4), настроенный на частоту 1000 $гц$ с полосой пропускания 200 $гц$ и коэффициентом усиления 3000. Выделенная и усиленная переменная — составляющая вторично эмиссионного тока — подавалась на вертикальные пластины электронного осциллографа ЭО-7, у которого трубка 13ЛО37 была заменена трубкой 13ЛО36, обладающей длительным послесвечением. На горизонтальные пластины осциллографа подавался сигнал от генератора пилообразных импульсов ГП, что обеспечивало хорошо синхронизированную развертку сигнала. В результате на экране осциллографа автоматически получался сигнал, огибающая которого давала кривую распределения вторичных электронов по энергиям.

Так как амплитуда переменной составляющей вторично эмиссионного тока очень мала (около 10^{-10} $а$), во избежание помех прибор тщательно экранировался, а особенно ответственные измерения производились ночью. Для уничтожения помех, создаваемых токами, идущими через емкость ми-

шень — коллектор, была изготовлена специальная компенсирующая фазовращательная цепочка КЦ, с помощью которой емкостный ток снижался на несколько порядков. Кривые распределения фотографировались с экрана осциллографа.

Измерения производились при непрерывной откачке прибора двумя включенными последовательно диффузионными ртутными насосами через три ловушки с жидким кислородом. Прибор подвергался обезгаживанию и длительной тренировке в течение 4—7 суток. Обезгаживание производилось в несколько циклов. Сначала стеклянные части прибора прогревались в электрической печи при температуре 400—450° в течение 8—12 ч. После первого прогрева все металлические детали прибора (пушки, мишень и др.) обезгаживались прогревом токами высокой частоты и электрическими подогревателями. Температура мишени достигала 2200°, электронных пушек 1000° и молекулярных пушек 600°. При этом начиналось испарение бария. Затем весь цикл обезгаживания и тренировки повторялся несколько раз. Когда вакуум достигал $3 \cdot 10^{-8}$ $мм рт. ст.$, включался специальный титановый насос. В результате давление остаточных газов в приборе не превышало $\sim 10^{-8}$ $мм рт. ст.$ В условиях такого вакуума производились основные измерения.

Время адсорбции монослоя остаточных газов при вакууме 10^{-8} $мм рт. ст.$ равно примерно 200 сек. На получение кривой распределения вторичных электронов по энергиям затрачивалось не более 30 сек, так что за это время напыленный слой бария не успевал существенно загрязняться атомами остаточных газов.

Контрольные опыты показали, что после снятия кривой распределения вторичных электронов по энергиям, вид и положение низковольтного максимума оставались неизменными в течение длительного отрезка времени.

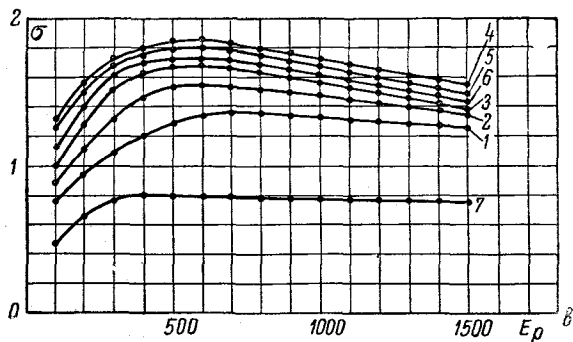


Рис. 5. Зависимость σ от E_p для различных степеней покрытия θ вольфрама барием:
 1 — $\theta = 0$; 2 — $\theta = 0,4$; 3 — $\theta = 0,5$; 4 — $\theta = 0,7$; 5 — $\theta = 1,1$;
 6 — $\theta = 1,3$; 7 — $\theta = 15$ атомным слоям

Результаты эксперимента. Для контроля правильности работы прибора снимались кривые $\sigma = f(E_p)$, где E_p — анодное напряжение измерительной пушки (рис. 5), и кривые задержки для вольфрама и бария.

Хорошее совпадение с литературными данными, отсутствие вытягивающих потенциалов, удовлетворительная воспроизводимость кривых и стабильность во времени свидетельствуют о чистоте мишени и хорошем вакууме.

Изменение эффективной работы выхода мишени иллюстрируют кривые рис. 6, характер которых аналогичен кривым, приведенным в [7].

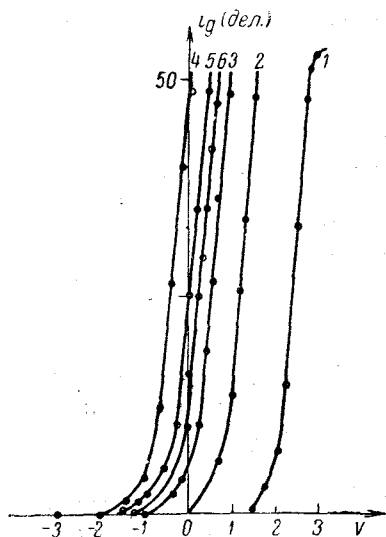


Рис. 6. Вольтамперные характеристики вольфрамовой мишени при различных степенях покрытия барием:

1 — $\theta = 0$; 2 — $\theta = 0,4$; 3 — $\theta = 0,5$; 4 — $\theta = 0,7$; 5 — $\theta = 1,3$; 6 — $\theta = 1,5$ атомного слоя

ловленного изменением работы выхода вольфрама при адсорбции бария, по мере утолщения слоя бария возрастает, а другого — уменьшается. При покрытиях, больших 0,7 монослоя, первый максимум становится значительно больше второго, причем полуширина первого максимума значительно меньше полуширины максимума, характерного для вольфрама (рис. 7, г, д). Наконец, при напылении бария толщиной 12—15 слоев второй максимум совсем исчезает и остается только один максимум, соответствующий массивному слою бария (рис. 7, е). При дальнейшем напылении бария характер максимума не меняется.

Результаты анализа кривых могут быть сведены в таблицу.

Таблица

Время напыления	Число слоев бария	Изменение работы выхода мишени $\Delta\phi, \text{ в}$	Положение первого максимума, в
0	0	0	3,1
30 сек	0,4	1	2
40 сек	0,5	1,7	1,8
1 мин.	0,7	2,8	1,2
1 мин 30 сек	1,1	2	1,3
15 мин	> 10	2	1,7

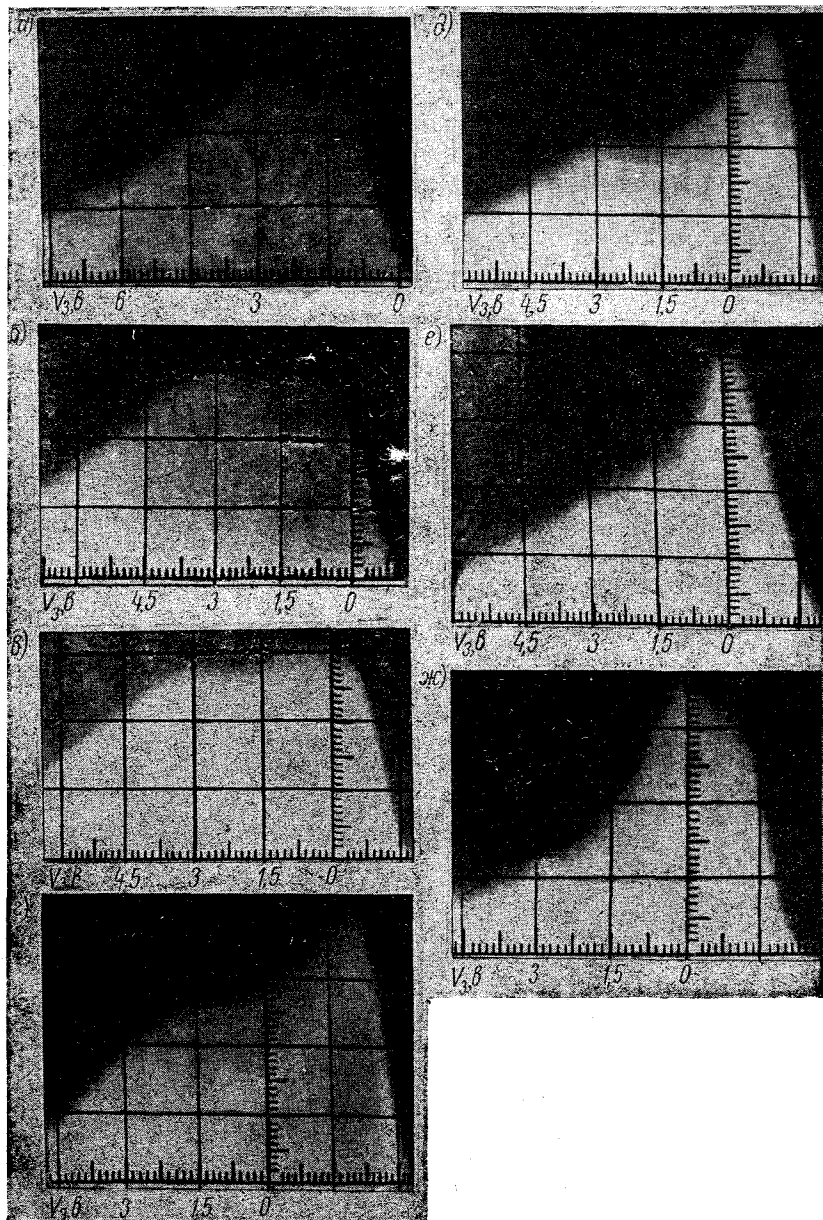


Рис. 7. Низковольтные максимумы вторичных электронов:

a — вольфрама при $\theta = 0$; *b* — вольфрамовой мишени при адсорбции бария при $\theta = 0,4$ атомного слоя; *в* — то же при $\theta = 0,5$ атомного слоя; *г* — то же при $\theta = 0,7$ атомного слоя; *д* — то же при $\theta = 1,1$ атомного слоя; *e* — бария при $\theta \geq 10$ атомных слоях; *ж* — вольфрамовой мишени при адсорбции бария при $\theta = 1,1$ атомного слоя и закороченной с коллектором антидина-
тронной сетке, V_3 — потенциал задержки, θ

Как видно из таблицы, движение максимума следует за изменением работы выхода мишени. При уменьшении работы выхода максимум сдвигается в сторону меньших энергий, и наоборот. Если закоротить антидинаatronную сетку с коллектором, то второй максимум исчезает (рис. 7, ж). Следовательно, «третичные» электроны, идущие с коллектора, в сильной степени влияют на кривую распределения медленных вторичных электронов по энергиям и практически «съедают» второй максимум. Кроме того, при включении антидинаatronной сетки максимум соответствует энергиям вторичных электронов в 1,3 эв, а при закороченной с коллектором — 2,2 эв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брюнинг Г. Физика и применение вторичной электронной эмиссии. «Советское радио», 1958.
2. Бронштейн И. М., Смородина Т. А. Вторичная электронная эмиссия тонких слоев Ве. ЖЭТФ, 1955, № 29, стр. 495.
3. Бронштейн И. М. Вторичная электронная эмиссия тонких слоев серебра. ЖТФ, 1943, № 13, стр. 176.
4. Шульман А. Р., Закирова И. Р. Вторичная электронная эмиссия никеля. ЖТФ, 1958, № 28, стр. 87.
5. Кадышевич А. Е. Распределение вторичных электронов по скоростям. ЖЭТФ, 1945, № 15, стр. 600.
6. Бронштейн И. М., Рощин В. В. Отражение электронов и вторичная электронная эмиссия от металлических поверхностей в области малых энергий первичных. ЖТФ, 1958, № 28, стр. 220.
7. Гаврилюк В. М. Изменение работы выхода при напылении Ва на W. Труды Ин-та физики, 1954, вып. 5, стр. 87.
8. Anderson P. A. Phys. Rev., 1935. N 47, P. 958.