

Ю. А. НЕМИЛОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ МЕДЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ОТ ВОЛЬФРАМА, МОЛИБДЕНА И ТАНТАЛА

(Представлено академиком П. И. Лукирским 6 VI 1947)

В результате исследований вторично-эмиссионных свойств металлов для медленных электронов, в ряде работ (1-3) разными авторами было установлено, что в области энергий первичных электронов до 10 вольт значительная часть вторичных электронов имеет такие же энергии, как и первичные, т. е. происходит почти исключительно упругое отражение. Относительно величины коэффициента отражения и ее зависимости от энергии электронов данные разных исследователей расходятся. Основным препятствием для экспериментального решения этого вопроса является трудность создания доста-

точно строго ограниченного, контролируемого пучка медленных электронов. С целью исключения ошибок при измерении коэффициентов отражения, связанных с невозможностью точной фокусировки пучка медленных электронов, был изготовлен прибор, схематически изображенный на рис. 1. Электроны из раскаленной вольфрамовой нити K сначала ускорялись электродом B , находящимся под потенциалом $+80$ вольт, затем тормозились в пространстве A , имеющем потенциал $+12$ вольт относительно катода. Щель в электроде B шириною в 2 мм, ориентированная перпендикулярно к нити, позволяла проникать в пространство A только электронам с небольшого участка катода, падение потенциала на котором не превышало 0,1 вольта. Четыре круглые диафрагмы вырезали пучок электронов с площадью сечения $0,5 \text{ см}^2$. Пройдя сетку C , электроны тормозились в плоском конденсаторе, образованном самой сеткой C и одной из мишеней M_1 или M_2 . Подбором задерживающей разности потенциалов на этом конденсаторе можно было варьировать энергию электронов, попадающих на мишень. Отношение длин пробегов электронов в пространстве A к диаметру диафрагм равнялось 10, так что разброс нормальных составляющих энергий, вызываемый расходимостью пучка, не мог превосходить 0,1 электрон-вольта. Мишень M_1 можно было выдвигать в сторону при помощи небольшого шлифа, тогда электроны попадали на мишень M_2 .

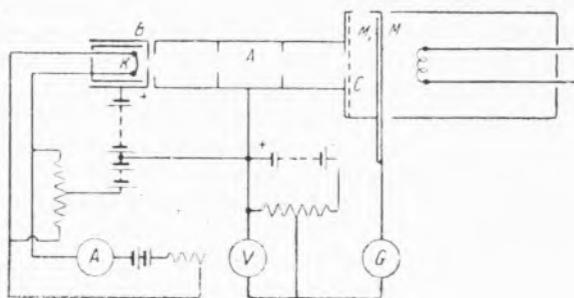


Рис. 1

точно строго ограниченного, контролируемого пучка медленных электронов. С целью исключения ошибок при измерении коэффициентов отражения, связанных с невозможностью точной фокусировки пучка медленных электронов, был изготовлен прибор, схематически изображенный на рис. 1. Электроны из раскаленной вольфрамовой нити K сначала ускорялись электродом B , находящимся под потенциалом $+80$ вольт, затем тормозились в пространстве A , имеющем потенциал $+12$ вольт относительно катода. Щель в электроде B шириною в 2 мм, ориентированная перпендикулярно к нити, позволяла проникать в пространство A только электронам с небольшого участка катода, падение потенциала на котором не превышало 0,1 вольта. Четыре круглые диафрагмы вырезали пучок электронов с площадью сечения $0,5 \text{ см}^2$. Пройдя сетку C , электроны тормозились в плоском конденсаторе, образованном самой сеткой C и одной из мишеней M_1 или M_2 . Подбором задерживающей разности потенциалов на этом конденсаторе можно было варьировать энергию электронов, попадающих на мишень. Отношение длин пробегов электронов в пространстве A к диаметру диафрагм равнялось 10, так что разброс нормальных составляющих энергий, вызываемый расходимостью пучка, не мог превосходить 0,1 электрон-вольта. Мишень M_1 можно было выдвигать в сторону при помощи небольшого шлифа, тогда электроны попадали на мишень M_2 .

Для определения коэффициента отражения электронов от металла последний помещался в прибор в качестве мишени M_2 , а мишень M_1 покрывалась слоем сажи, почти не отражающим электроны. Покрытая сажей мишень использовалась для измерения тока пучка первичных электронов, при этом вводилась поправка на ее коэффициент отражения. Ток на мишень M_2 давал разность тока первичного пучка и тока вторичных или отраженных электронов. Существенно, что при такой схеме опыта исключена возможность прохождения части электронов мимо мишени на коллектор из-за неточности фокусировки пучка (в отличие от приборов типа сферического конденсатора, обычно применяемых при подобных измерениях, в которых всегда приходится опасаться этой возможности). Для обезгаживания и очистки поверхности мишень M_2 прогревалась излучением и электронной бомбардировкой от накаливаемой вольфрамовой спирали, находящейся внутри фарадеева цилиндра, расположенного позади мишени. С целью уменьшения количества рассеянных электронов, которые могут искажать результаты измерений, все диафрагмы, внутренние стенки электронной пушки и сетка C покрывались слоем сажи. В процессе работы прибор непрерывно откачивался паро-масляным насосом. Для вымораживания паров масла и замазки перед прибором имелась ловушка, наполненная жидким воздухом.

Кривые зависимости силы тока на мишень, покрытую слоем сажи, от задерживающей разности потенциалов имели ярко выраженный характер насыщения, начиная с того момента, когда энергии электронов были достаточны для достижения мишени. Ширина участка спада тока, характеризующая разброс нормальных составляющих энергий электронов, не превышала 0,5—0,7 вольта. Минимальная энергия электронов, для которой измерялся коэффициент отражения, равнялась одному вольту, при этом энергии отдельных электронов в их спектре распределения могли отличаться от среднего значения на 30—40%.

Прежде всего необходимо было удостовериться в том, что от слоя сажи действительно отражается ничтожная часть электронов. Для этого вместо мишени M_2 ставилась покрытая сажей молибденовая сетка с проницаемостью около 50%. Фарадеев цилиндр, находящийся позади этой сетки, и мишень M_1 также покрывались слоем сажи. Сначала измерялся ток на мишень M_1 , затем она выдвигалась и измерялся ток на сетку, соединенную с фарадеевым цилиндром. На всем диапазоне измерений от 1 до 10 вольт величина тока во втором случае оказывалась больше на 2—3%. Так как в этих условиях только половина электронов попадала в фарадеев цилиндр, а другая половина отражалась от сетки, то действительный коэффициент отражения электронов от сажи следует считать равным примерно 5%. У свеженанесенных слоев сажи, до прогрева, коэффициент отражения обычно бывал в несколько раз больше. Недолговременное введение атмосферного воздуха в прибор заметным образом не изменяло отражательной способности сажи.

Результаты измерений коэффициентов отражения электронов σ в зависимости от их энергий V_0 приведены на рис. 2: кривая 1 для молибдена, кривая 2 для тантала и кривая 3 для вольфрама. При увеличении энергии первичных электронов выше 10 вольт (измерения производились до 80 вольт) наблюдается монотонное возрастание суммарного тока вторичных и отраженных электронов. Приведенные кривые были получены сразу после прогрева мишеней до температур свыше 2000° С. До прогрева, когда поверхности мишеней были загрязнены, у всех трех металлов обнаруживались максимумы отражения в области энергий 6—8 вольт. Абсолютные значения коэффициентов отражения от загрязненных поверхностей, до прокаливания, оказы-

вались больше и доходили в максимуме до 0,6—0,8. Окисление поверхности металла при кратковременном впуске атмосферного воздуха резко изменяло количество отраженных электронов, не меняя характера кривых; чаще всего оно приводило к увеличению коэффициента отражения до 0,4—0,6. При окислении молибдена наблюдалось закономерное уменьшение коэффициента отражения одновременно с увеличением работы выхода. Последняя определялась по сдвигу кривых зависимости электронного тока на мишень от задерживающей разности потенциалов. При окислении тантала и вольфрама такой закономерности не наблюдалось. В ряде случаев воздействие атмосферного воздуха вызывало большие изменения величины коэффициента отражения электронов, в то время как контактная разность потенциалов

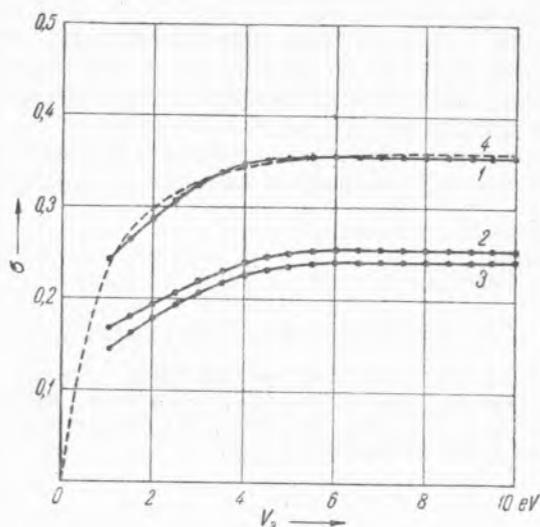


Рис. 2

между мишенью и катодом электронной пушки оставалась неизменной. Возможно, что эти аномалии были связаны с недостаточно хорошей очисткой мишеней.

Полученные значения коэффициентов отражения электронов значительно больше ожидаемых по теоретическим расчетам Нордгейма⁽⁴⁾ и Бете и Зоммерфельда⁽⁵⁾, произведенным для случая отражения электронов от плоского потенциального барьера на границе вакуум — металл. Вместо уменьшения коэффициента отражения при возрастании энергии электронов, которое следует из расчетов вышеупомянутых авторов, в области энергий до 5 вольт, на опыте наблюдалось прогнвоположное явление — увеличение коэффициента отражения. Представляется наиболее вероятным предположить, что причиной этих серьезных расхождений между результатами теоретических исследований и экспериментальными данными является несоответствие между принятой в основу расчета моделью плоского потенциального барьера и действительной картиной явления отражения медленных электронов от сложных потенциальных полей, создаваемых объемной решеткой атомов металла. Уменьшение коэффициента отражения при снижении энергии электронов может быть понято, если принять во внимание неровности потенциального барьера, обусловленные индивидуальными полями атомов поверхности металла. Действительно, наличие „макршероховатостей“ потенциального барьера должно создавать не плоскую волну отраженных электронов, а близкую к сферической. Другими словами, электроны должны рассеиваться поверхностью почти равномерно во всех направлениях, т. е. их количество должно быть примерно пропорционально

косинусу угла отражения. На некотором расстоянии от поверхности перестают сказываться поля отдельных атомов, но силы электрического изображения еще продолжают действовать и дальше, стремясь задержать часть электронов, вылетевших под косыми углами. При повышении энергии меньшая часть электронов будет задерживаться, а следовательно, коэффициент отражения должен увеличиваться, что мы и наблюдаем на опыте. Пунктирная кривая 4 на рис. 2 представляет рассчитанный ход зависимости коэффициента отражения с изменением энергий электронов. Она получена из предположений, что число отраженных потенциальным барьером электронов не зависит от их энергий и равно 43% от числа падающих электронов, а влияние потенциального поля отдельных атомов прекращается на расстояниях порядка 10^{-7} см от поверхности. Конечно, трудно ожидать совпадения с экспериментальными данными расчетной кривой, полученной на основании столь грубых предположений, однако общность вида кривых позволяет предполагать, что в некоторой степени вышеизложенное представление приближается к реальной картине отражения медленных электронов от металлов.

Считаю своим долгом выразить глубокую благодарность акад. П. И. Лукирскому за ценные указания и интерес к данной работе.

Ленинградский физико-технический
институт
Академии Наук СССР

Поступило
6 VI 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ H. E. Fahrnsworth, Phys. Rev., **20**, 358 (1922). ² H. Bruining, Physica, **5**, 913 (1938). ³ I. Gimpel and O. Richardson, Proc. Roy. Soc., **182**, 17 (1943). ⁴ L. Nordheim, Z. Phys., **46**, 833 (1928). ⁵ Г. Бете и А. Зоммерфельд, Электронная теория металлов (перевод). 1938.