

Член-корреспондент АН СССР Е. М. САВИЦКИЙ, Л. Н. ЛИТВАК,  
И. В. БУРОВ, В. П. ПОЛЯКОВА, Г. Д. ШНЫРЕВ

### АНИЗОТРОПИЯ РАБОТЫ ВЫХОДА МОНОКРИСТАЛЛА РУТЕНИЯ

Рутений — тугоплавкий благородный металл платиновой группы. Он имеет гексагональную плотноупакованную решетку типа магния, температура плавления рутения  $2250^{\circ}$  (<sup>1</sup>). В литературе отсутствуют сведения о работе выхода монокристалла рутения по различным граням. По данным (<sup>2</sup>) работа выхода электронов, определенная на поликристаллическом рутении, равна 4,62 эв.

Методика. Монокристалл рутения диаметром 8 мм, длиной 150 мм был выращен зонной рафинировкой электронным пучком в вакууме  $10^{-5}$  тор и имел произвольную ориентацию вдоль оси роста. Экспериментальные образцы имели вид цилиндрических таблеток диаметром 6—8 мм и высотой 1—2 мм, полых стаканчиков или полусфер диаметром 6—8 мм,

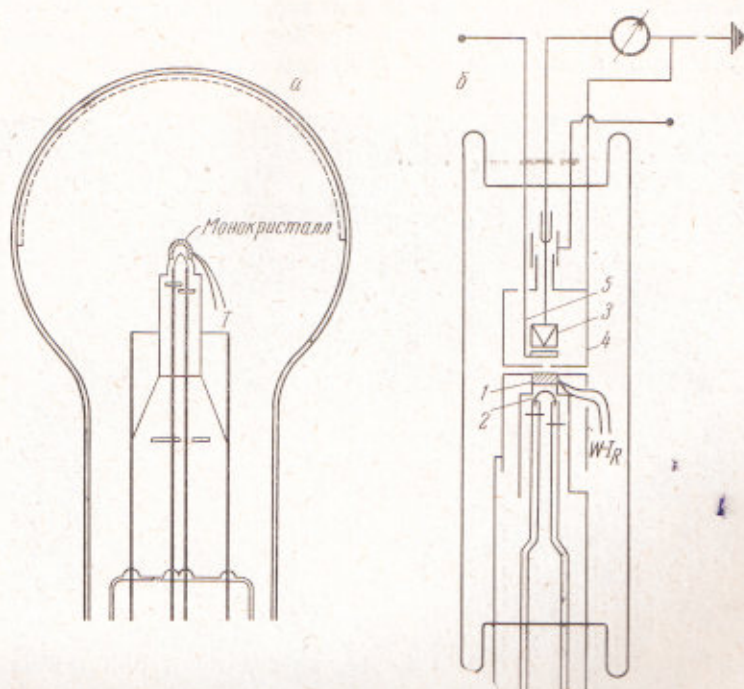


Рис. 1. Схема термоэмиссионного проектора (а) и прибора с плоской геометрией электродов для измерения работы выхода (б). 1 — образец, 2 — подогреватель, 3 — измерительный коллектор, 4 — охранный анод, 5 — антинейтронная диафрагма

высотой 6—7 мм. Было использовано два экспериментальных прибора — термоэмиссионный проектор Мартина (рис. 1а) (<sup>3</sup>) для качественного изучения анизотропии эмиссионных свойств и прибор с плоской геометрией электродов (рис. 1б) (<sup>4</sup>) для количественных измерений работ выхода моно- и поликристаллических объектов.

Откачка и обезгаживание экспериментальных приборов до давления  $10^{-9}$  тор проводилась на безмасляных вакуумных постах. Температура

измерялась вольфрам-прудиевой термопарой, приваренной непосредственно к образцу. Работа выхода в вакууме определялась методом прямых Ричардсона и по полному току.

При измерении эмиссионных характеристик потенциалы электродов анодного блока (рис. 16) подбирались таким образом, чтобы обеспечить минимальный ток рассеянных и вторичных электронов на измерительный анод-коллектор.

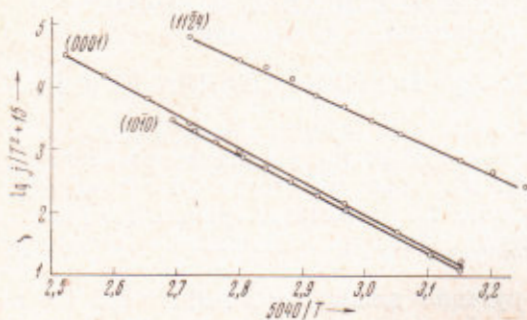


Рис. 2. Прямые Ричардсона для граней (0001), (1010), (1124)

Обезгаживание образцов проводилось при температуре 2100—2200° К. При более высокой температуре рутений сильно испарялся. Термоэмиссионный ток был измерен в интервале температур 1600—1900° К. Результаты измерений приведены в табл. 1 и на рис. 2.

Результаты и об- суждение. Термоэмиссионное изображение монокристалла рутения показано на рис. 3. Выход оси шестого порядка под углом 40—45° к оси кристалла дает темное контрастное пятно. Вокруг него расположено шесть светлых участков, образованных совокупностью пирамидальных граней

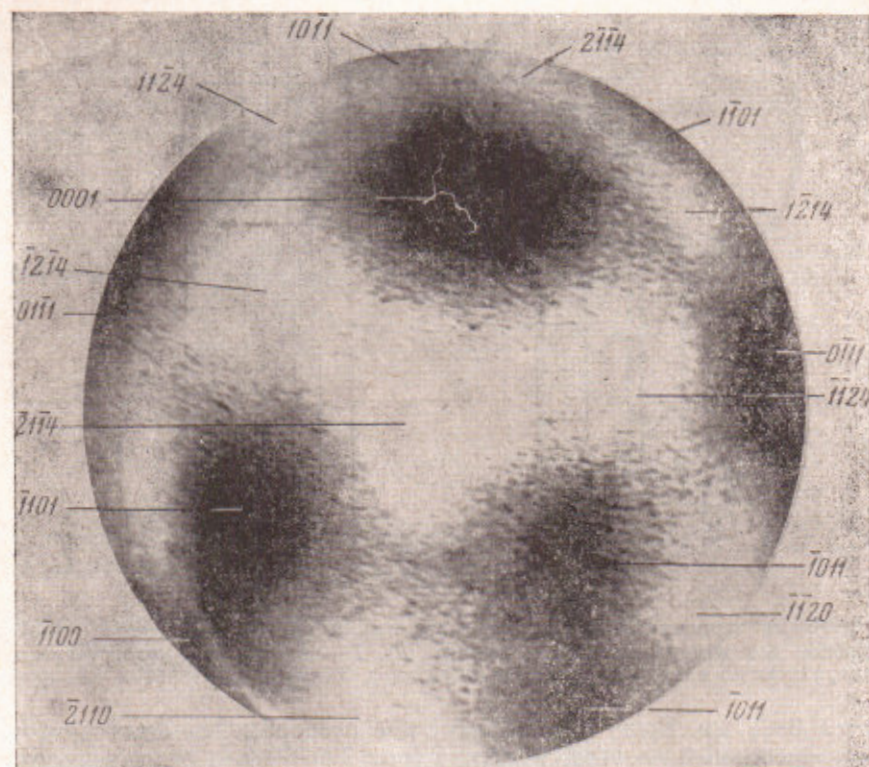


Рис. 3. Термоэмиссионное изображение монокристалла рутения

(11 $\bar{2}$ 6) и (11 $\bar{2}$ 4). Светлые участки разделяются темными поясами пирамидальных граней типа ( $h0\bar{h}l$ ). Темные пояса растянуты от выхода оси шестого порядка вниз до основания полусферы и на экваторе заканчива-

ются темной плоскостью призмы ( $10\bar{1}0$ ), по контрастности схожей с плоскостью базиса. Индексированием термоэмиссионного изображения было установлено, что наиболее высокую работу выхода имеют следующие плоскости: плоскость базиса (0001), плоскость призмы ( $10\bar{1}0$ ) и пирамидальные грани ( $10\bar{1}1$ ) и ( $10\bar{1}2$ ), являющиеся также плоскостями скольжения и двойникования в гексагональной решетке. Таким образом, корреляция между способностью к пластической деформации и работой выхода электронов, установленная для металлов с о.д.к. решеткой (<sup>5</sup>), сохраняется и для гексагональных кристаллов.

Таблица 1

Термоэмиссионные параметры монокристалла рутения по различным кристаллографическим граням

Индекс грани ( $hkl$ )	Работа выхода, эв		Постоянная Ричардсона, $A_{эф}$ , а/см <sup>2</sup> ·град <sup>2</sup>
	$\varphi_R$	$\varphi_{1600^\circ K}$	
(0001)	$5,40 \pm 0,07$	$5,04 \pm 0,07$	1300
( $10\bar{1}0$ )	$5,14 \pm 0,05$	$5,08 \pm 0,05$	180
(1124)	$4,52 \pm 0,05$	$4,55 \pm 0,05$	120
Поликристалл	—	4,68	—

Как видно по термоэмиссионному изображению, в кристалле гексагональной сингонии можно выделить семь основных типов плоскостей, отличающихся различной плотностью упаковки атомов и имеющих различные значения работы выхода. Для измерения были выбраны две «плотные» (0001) и ( $10\bar{1}0$ ), одна «рыхлая» грани монокристалла и для сравнения был измерен поликристаллический образец. Плоскость базиса монокристалла была выведена на дно образца, имеющего вид стаканчика; остальные образцы были изготовлены в виде таблеток.

Следует отметить, что значения плотности полного эмиссионного тока с плоскости базиса (0001) и плоскости призмы ( $10\bar{1}0$ ) очень близки. Для плоскости базиса оказалась значительно большей величина постоянной  $A$ , которая была обусловлена, возможно, увеличением эмиссионного тока при высоких температурах за счет попадания посторонних электронов на коллектор при разогреве массивного образца. В процессе обезгаживания эмиссионные характеристики каждой грани изменялись по-разному. Для грани ( $10\bar{1}0$ ) работа выхода по полному току устанавливалась в первые 10 час. прогрева и в дальнейшем не изменялась. Для грани (0001) она заметно выросла от значения  $\varphi_{1600^\circ K} = 4,65$  эв до значения 5,04 эв в течение 30 час. Для грани (1124) она несколько снизилась от  $\varphi_{1600^\circ K} = 4,70$  эв до 4,55 эв.

Полученные для рутения значения работы выхода по прямым Ричардсона имеют аналогию с результатами, приведенными в литературе по рению (<sup>6</sup>) — также гексагональному металлу. Однако между плоскостью базиса и поликристаллом рутения разница получилась несколько большая, чем у рения. Для рения  $\Delta\varphi = 0,6$  эв, для рутения  $\Delta\varphi \approx 0,7$  эв.

В заключение следует сказать, что в результате измерений значений работы выхода электронов в вакууме, проведенных на металлах с о.д.к. решеткой (<sup>4, 5, 7-9</sup>), решеткой г.д.к. (<sup>10, 11</sup>) и г.п.у. (<sup>6, 12</sup>), стала еще более видна корреляция между высокой работой выхода электронов в вакууме и наибольшей способностью к пластической деформации путем скольжения и двойникования металлических кристаллов — и та и другая осуществляются на наиболее плотноупакованных атомных плоскостях (<sup>3</sup>). Связь между работой выхода и механическими свойствами металлов и сплавов рассмотрена в работе (<sup>13</sup>).

Выводы. 1. Впервые исследованы термоэмиссионные свойства монокристалла рутения в вакууме  $10^{-9}$  тор. По термоэмиссионному изображению было установлено, что наиболее высокую работу выхода имеют плоскость базиса (0001), плоскость призмы 1-го рода ( $10\bar{1}0$ ) и пирамидальные грани ( $10\bar{1}1$ ), ( $10\bar{1}2$ ), являющиеся плоскостями скольжения и двойникового в гексагональной решетке. Менее плотно упакованные атомами пирамидальные грани (1124), (1126) монокристалла рутения имеют низкую работу выхода.

2. Измерены значения работы выхода трех различных граней (0001), ( $10\bar{1}0$ ) и (1124) монокристалла рутения, которые составляют соответственно 5,40; 5,14; 4,52 эв.

Институт металлургии им. А. А. Байкова  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
24 II 1970

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. Е. Вол, Строение и свойства двойных металлических систем, 1, М., 1959.  
<sup>2</sup> В. С. Фоменко, Эмиссионные свойства элементов и химических соединений, Киев, 1964. <sup>3</sup> В. М. Султанов, Радиотехника и электроника, 9, 316 (1964). <sup>4</sup> О. Д. Протопопов, И. В. Стригущенко, ФТТ, 10, 3, 943 (1968). <sup>5</sup> Е. М. Савицкий, Изв. АН СССР, Металлы, 5, 3 (1965). <sup>6</sup> Е. В. Михеева, О. Д. Протопопов и др., Катодная техника, в. 4, М., 1968, стр. 181. <sup>7</sup> Г. Н. Шуппе, Изв. АН СССР, сер. физ., 30, 12, 1935 (1966). <sup>8</sup> Е. М. Савицкий, И. В. Буров и др., Сборн. Монокристаллы тугоплавких и редких металлов, «Наука», 1969, стр. 110.  
<sup>9</sup> Е. М. Савицкий, И. В. Буров и др., ЖТФ, 36, 7, 1310 (1966). <sup>10</sup> А. Кашетов, Н. А. Горбатый, ФТТ, 10, 2435 (1968). <sup>11</sup> Е. М. Савицкий, И. В. Буров и др., Сборн. Монокристаллы тугоплавких и редких металлов, в. 2, «Наука», 1970.  
<sup>12</sup> А. Кашетов, Н. А. Горбатый, ФТТ, 11, в. 2, 493 (1969). <sup>13</sup> Е. М. Савицкий, И. В. Буров, Л. Н. Лигвак, Сборн. Теоретические и экспериментальные методы исследования диаграмм состояния металлических систем, «Наука», 1969, стр. 214.