

В. И. ТРУБИН, Б. П. УСОЛЬЦЕВ, В. В. БЕСКРОВАНОВ, П. И. ХУДАЕВ

# ТЕРМОТОК, ВОЗНИКАЮЩИЙ НА КОНТАКТЕ МЕТАЛЛ — АЛМАЗ — МЕТАЛЛ

(Представлено академиком Н. В. Беловым 25 V 1973)

Данная работа посвящена исследованию влияния ловушек на возникновение термотока на контакте металл — алмаз — металл. Исследования проведены в области температур 300—850°K на установке, описанной ранее (<sup>1</sup>), однако измерительная ячейка была усовершенствована. Исследуемый алмаз — октаэдр с хорошей поверхностью — помещался между двумя электродами, верхний (серебряный) электрод одновременно выполнял роль теплоподводящего элемента, нижний электрод, соединенный со входом электрометрического усилителя, изготовлен из серебра, платины, алюминия, стали или меди. Благодаря особой конструкции нижнего электрода, теплоотвод через него был незначителен и градиент температуры на алмазе можно было пренебречь.

Алмаз нагревался между электродами до 850°K и медленно охлаждался, что позволяло улучшить контакт металла с алмазом и обеспечивало хорошую воспроизводимость результатов. Затем алмаз повторно нагревался, при этом регистрировался термоток  $I_T$ , возникающий на контакте металл — алмаз — металл. Типичные кривые  $I_T$  представлены на рис. 1.

Направление и величина  $I_T$  зависит от выбора материала нижнего электрода. При нижнем электроде из алюминия или стали  $I_T$  протекал от нижнего электрода к верхнему, тогда как при платине, серебре, меди и латуни направление тока было противоположным. Так как алмазы неоднородны по физическим свойствам (<sup>2</sup>), мы снимали  $I_T$  для различных граней определенного алмаза. Оказалось, что кривые  $I_T$  качественно подобны, но количественно могут сильно различаться (ср. рис. 1 кривые 1 с 1', 2 с 2').

В отличие от термоэлектродвижущей силы (т.э.д.с.), возникающей при температурных градиентах и не зависящей от материала электродов, в нашем случае направление тока определяется лишь материалом электродов, величина тока зависит как от алмаза, так и от электродов, а распределение  $I_T$  от температуры определяется в основном наличием и концентрацией тех либо иных ловушек в алмазе.

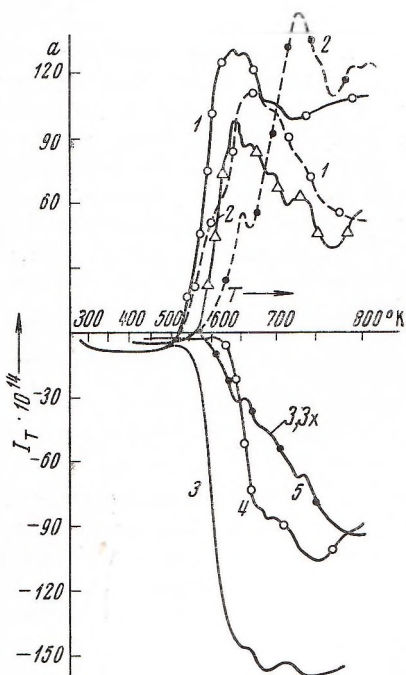


Рис. 1. Зависимость термотока  $I_T$  от температуры для алмаза при нижнем электроде из различных металлов: 1, 1' — Al, 2, 2' — сталь, 3 — Cu, 4 — Ag, 5 — Pt. 1', 2' — алмаз повернут на другую грань;  $\beta \approx 0,4^\circ/\text{сек}$ .

Описанные выше экспериментальные зависимости мы объясняем следующим образом. При нагревании происходит термоэлектронная эмиссия из электродов, при этом испускаемые электроны, проникая в алмаз на контакте металл — алмаз, захватываются электронными ловушками в алмазе, в результате в приконтактной области алмаза образуется отрицательно заряженный слой. В связи с тем, что работа  $A$  выхода электронов из серебра ( $A=4,75$  эв) больше, чем у алюминия ( $A=3$  эв), но меньше, чем у платины ( $A=6$  эв) <sup>(3)</sup>, то относительная концентрация захваченных электронов в приповерхностном слое алмаза на контакте с серебром (у верхнего электрода) будет меньше, чем на контакте с алюминием (у нижнего электрода), но больше чем на контакте в случае платины (у нижнего электрода). При этом возникает разность потенциалов между приконтактными слоями алмаза.

По мере возрастания температуры происходит увеличение темновой проводимости и освобождение захваченных носителей тока из ловушек, находящихся в приконтактной области алмаза, в результате через алмаз (в цепи) начинает течь ток  $I_T$  за счет градиента в концентрации электронов между приконтактными слоями алмаза; при этом все большую роль в захвате эмиттируемых электродами электронами электронов начинают играть более высокотемпературные ловушки в алмазе.

В случае, когда верхний и нижний электроды серебряные, возникновение  $I_T$  обусловлено в основном тем, что плотность термоэмиссионного тока в алмаз из более горячего верхнего электрода больше, чем из нижнего. В случаях же, когда нижний электрод из платины или алюминия, за счет разности в температурах у верхнего и нижнего электродов это будет приводить к увеличению величины  $I_T$  в первом случае (платина) и уменьшению во втором случае (алюминий).

В нашем случае, для схемы металл  $M_2$  — алмаз — металл  $M_1$ , пренебрегая эмиссией электронов из алмаза и эффектом диффузии электронов в алмазе, можно записать систему уравнений

$$\Delta j_{21} B_0 \left[ \exp \left( -\frac{A_2}{kT_2} \right) - \exp \left( -\frac{A_1 - e\varphi_{21}}{kT_1} \right) \right], \quad (1)$$

$$I_T = e\mu_n n \varphi_{21}, \quad \operatorname{div} \varphi_{21} = \frac{4\pi}{\epsilon} q,$$

где  $\Delta j_{21}$  — разность термоэмиссионных токов из электродов в алмаз,  $B_0$  — константа,  $T_1$  и  $T_2$  — температура электродов из металла  $M_1$  и  $M_2$  соответственно,  $\varphi_{21}$  — электрический потенциал, возникающий из-за разности работ выхода электронов из металлов  $M_2$  и  $M_1$ , который служит дополнительным барьером для электронов, эмиттируемых электродом с наибольшей работой выхода (или с наибольшим термоэмиссионным током),  $e$  — заряд электрона,  $\mu_n$  — его подвижность,  $n$  — плотность электронов в зоне проводимости алмаза,  $q$  — электрический заряд в алмазе. При барьерном распределении заряда в алмазе решение системы уравнений имеет вид

$$I_T = C \frac{\mu_n e n^3}{N_e} \sum_i N_i \exp \left( \frac{E_i}{kT} \right). \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что наблюдаемые ступеньки и максимумы на кривых  $I_T$  (рис. 1) обусловлены ловушками с энергией активации  $E_i$ . При  $T=T_m$  (температуре максимума ловушки) происходит опустошение ловушек определенного сорта и ранее связанные заряды вносят вклад в  $I_T$ .  
Институт геологии Якутского филиала  
Сибирского отделения Академии наук СССР  
Якутск

Поступило  
25 V 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> В. И. Трубин, П. И. Худяев, Сборн. Алмазы, 10, 6 (1971). <sup>2</sup> В. И. Трубин, Кристаллография, 16, 1, 244 (1971). <sup>3</sup> Г. И. Шуппе, Электронная эмиссия металлических кристаллов, Ташкент, 1959.