

## АНОМАЛЬНЫЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАКУУМНЫХ ДИОДОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

*В. А. Маштакова, Б. Б. Шишкин*

Обнаружены аномалии на начальном участке вольт-амперной характеристики (ВАХ) диода с монокристаллическим термокатодом из вольфрама. Аномалии появляются на ВАХ, начиная с некоторого порогового значения температуры катода  $T = \Theta_{ТЭ}$ ,  $\Theta_{ТЭ}$  – характеристическая термоэмиссионная температура. Предполагается, что эффект обусловлен эмиссией электронов, образующихся при рекомбинации тепловых дефектов.

1. Для исследования термоэлектронной эмиссии различных кристаллографических плоскостей (граней) металлических монокристаллов сконструирован и построен симметричный вакуумный диод плоской геометрии (рис. 1). Конкретная конструкция прибора выбиралась в результате численного расчета распределения полей таким образом, чтобы отклонения от однородного электростатического поля между катодом и анодом не превышали 0,1 – 1%. Катод и анод – одинаковые грани одного и того же монокристалла. Ниже приводятся экспериментальные результаты для грани вольфрама (100). Чистота объекта составляла 99,999 массовых %. Точность выведения граней ( $\sim 30^\circ$ ) контролиро-

валась по лауэграммам. Температура катода измерялась эталонным пирометром ЭОП-66. В интервале 1600 – 2200 погрешность измерений  $\pm 5\text{K}$ .

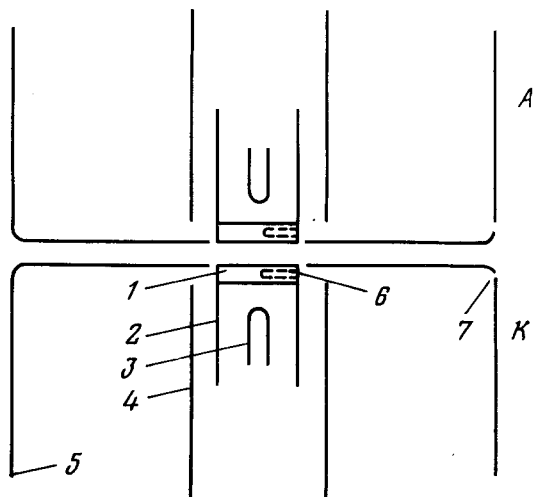


Рис.1. Симметричный плоский диод. А, К – анодный и катодный узлы. 1 – катод; диаметр 6 мм, толщина  $\sim 1\text{ мм}$ ; 2 – kern катода; 3 – подогреватель (бифилярная спираль); 4 – охранный цилиндр; 5 – охранный кольцо; 6 – модель "черного тела"; 7 – отверстие для пирометрирования

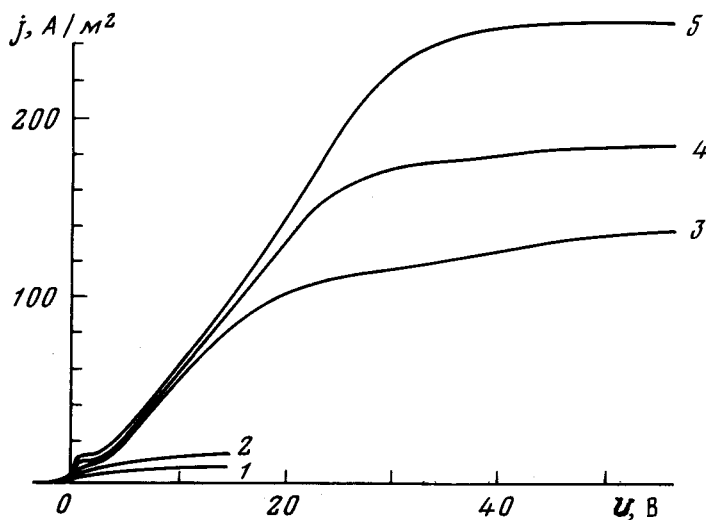


Рис.2. ВАХ диода. Параметр кривых –  $T^\circ\text{K}$  катода: 1 – 1708; 2 – 1783; 3 – 1920, 4 – 1939; 5 – 1996

Диоды монтировались в металлической разборной вакуумной камере с безмасляной системой откачки. Предельное разрежение в камере  $5 \cdot 10^{-11}$  тор давление остаточных газов в процессе измерений ВАХ не превышало  $5 \cdot 10^{-9}$  тор при нагретом катоде. ВАХ записывались с помощью двухкоординатных самопишущих приборов ПДС-021 и "Watanabe". Типичные кривые приведены на рис. 2. На рис. 3 показаны записанные в увеличенном масштабе начальные участки ВАХ.

2. Основные результаты опытов заключаются в следующем. Существует характеристическая термоэмиссионная температура катода  $T = \Theta_{T^2}$ , которая делит семейство ВАХ на два качественно различных

типа. Низкотемпературные ВАХ, измеренные при  $T < \Theta_{T_3}$  (1, 2 на рис. 2 и 1, 2, 3 на рис. 3), образуют веер расходящихся примерно из начала координат кривых, непрерывных в каждой точке вместе с первыми производными. Высокотемпературные ВАХ, измеренные при  $T \geq \Theta_{T_3}$  (3, 4, 5 на рис. 2), имеют четко выраженные области, обусловленные пространственным зарядом электронов. В этих областях ВАХ почти сливаются. На начальных участках высокотемпературных ВАХ (3, 4, 5 на рис. 2 и 4, 5, 6 на рис. 3) появляются аномалии -- "ступеньки". С ростом температуры катода аномалии проявляются более отчетливо. Для грани (100) монокристалла вольфрама температура  $\Theta_{T_3} = 1810 \pm 5$  K, для грани (111) вольфрама  $\Theta_{T_3} = 1860 \pm 5$  K.

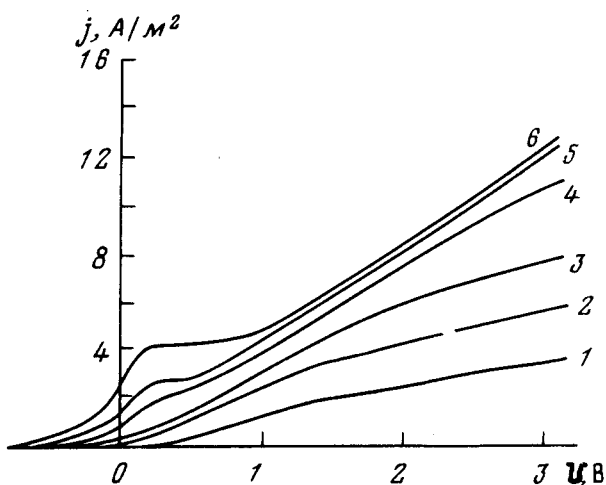


Рис.3. Начальные участки ВАХ. Параметр кривых температура катода  $T$  °K: 1 — 1708, 2 — 1728; 3 — 1783; 4 — 1836; 5 — 1883; 6 — 2000

Причины описанных аномалий ВАХ могут быть связаны с температурными изменениями свойств монокристаллов вольфрама или с особенностями электронной плазмы диода. Для разрешения этой альтернативы проведены контрольные опыты. В первой серии контрольных опытов измерялись ВАХ диодов с разными значениями расстояния катод — анод. Основные результаты хорошо воспроизводятся и не зависят от расстояния катод — анод при его изменении от 0,7 до 1,8 мм. Во второй серии контрольных опытов измерены ВАХ диодов с монокристаллическими анодами и эффективными вольфрам-бариевыми термокатодами. Аномалий на ВАХ таких диодов не обнаружено.

Итак, можно предположить, что при  $T \geq \Theta_{T_3}$  изменяется состояние монокристалла вольфрама. В результате этого изменения при  $T \geq \Theta_{T_3}$  в монокристалле генерируются быстрые по сравнению с тепловыми электроны; ВАХ на рис. 3 продолжают в область задерживающих напряжений до 1В.

3. Рассмотрим возможную физическую картину явлений, приводящих к наблюдаемым аномалиям. Известно, что с повышением температуры до температуры плавления все более заметный вклад в уравнение состояния переходных металлов и сплавов вносят высокотемпературные поправки, в частности, поправки, обусловленные тепловыми дефектами (ТД) кристаллов [1]. Современные представления о ТД как о локализованных объектах, по всей видимости, справедливы

вплоть до некоторой температуры  $T \sim \Theta_{T_3}$ . Если это так, то в высокотемпературной области  $T > \Theta_{T_3}$  возможна рекомбинация ТД.

Предположим, что избыточная энергия, освобождающаяся при рекомбинации пары ТД, передается электрону. Элементарные оценки показывают, что в таком процессе электрон должен перейти на энергетический уровень, лежащий выше уровня вакуума. Действительно, удвоенная энергия образования ТД в вольфраме составляет 6,3 эВ [2], а работа выхода грани (100) по нашим измерениям равна 4,5 эВ.

Следовательно, наряду с обычными термоэлектронами переходные металлы при  $T \geq \Theta_{T_3}$  могут испускать электроны, образующиеся в процессе рекомбинации тепловых дефектов. По всей видимости, этот механизм обуславливает наблюдающиеся аномалии ВАХ.

Анизотропия явления рекомбинационной электронной эмиссии непосредственно связана с анизотропией работы выхода.

Авторы благодарят участников и руководителей семинаров профессора Н.Б.Брандта и профессора А.А.Рухадзе за доброжелательную критику и интерес к работе.

Московский  
государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию  
17 апреля 1979 г.

Литература

После переработки  
18 июня 1979 г.

[1] В.Н.Жарков, В.А.Калинин. Уравнения состояния твердых тел при высоких давлениях и температурах. М., изд. Наука, 1968.

[2] Я.А.Крафтмахер, П.Г.Стрелков. ФТТ, 4, 2271, 1962.