

## ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 537.533

### ЭМИССИЯ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ТОНКИХ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВОЛЬФРАМА И МОЛИБДЕНА ИОНАМИ $Ar^+$

Э. Э. Азизов, В. Г. Бабаев, Н. Б. Брандт, В. А. Маштакова

*(кафедра физической электроники; кафедра физики низких температур)*

**Измерены энергетические спектры электронов, эмиттируемых тонкими монокристаллами вольфрама и молибдена со стороны, противоположной бомбардируемой ионами аргона.**

При исследовании термоэлектронной эмиссии переходных металлов на вольтамперных характеристиках плоскосимметричного диода при температуре катода  $T > > \theta^*$  ( $\theta^*$  — примерно половина значения температуры плавления металла) наблюдались аномалии [1], которые в работе [2] связывались с изменениями энергетического спектра эмиттируемых электронов вследствие появления «быстрых» электронов с энергией  $\sim 2,5$  эВ. Появление высокоэнергетичных электронов объяснялось рекомбинацией френкелевских пар (точечных дефектов типа вакансии — междоузельный атом), а соответствующая эмиссия названа рекомбинационной.

Известно, что френкелевские пары в металлах образуются не только при нагревании металлов, но и под действием ионной бомбардировки [3]. Поэтому можно предположить, что при облучении тонких металлических монокристаллов ионами аргона в решетке монокристаллов будут образовываться точечные дефекты, которые, диффундируя к противоположной стороне кристалла и рекомбинируя вблизи поверхности, обуславливают эмиссию высокоэнергетичных электронов.

Образцы представляли собой монокристаллы W чистотой 99,999 мас.% и Mo чистотой 99,997 мас.% с различной ориентацией кристаллографических плоскостей (граней). Толщина монокристаллов составляла  $20 \pm 100$  мкм. Предполагалось, что в процессе стравливания под действием ионной бомбардировки она будет уменьшаться и в конце концов станет достаточной для того, чтобы наблюдалась рекомбинационная эмиссия. При этом все другие виды эмиссии не могли наблюдаться.

Схема эксперимента представлена на рис. 1. Тонкие монокристаллы диаметром 10 мм герметично закреплялись между диском из нержавеющей стали толщиной 1 мм и танталовым диском толщиной 0,5 мм; в центре дисков имелось отверстие диаметром 3–5 мм, которое оставляло открытой поверхность образца для облучения ионами аргона. Энергия ионов  $Ar^+$   $E = 3$  кэВ и максимальная плотность пучка  $j_{Ar} = 100$  мкА/см<sup>2</sup> позволяли создать достаточную концентрацию дефектов

$$(N \sim \sqrt{j_{Ar} E} \text{ [3, 4]}).$$

В первой серии экспериментов ток с образца сразу поступал на вторичный электронный умножитель ВЭУ-1 с коэффициентом усиления  $K = 10^6$  и измерялся с помощью электрометрического усилителя У1-6 ( $R_{вх} = 10^{10}$  Ом). Во второй серии экспериментов регистрировались энергетические спектры эмиттируемых электронов с помощью энергоанализатора в форме гиперболоидного зеркала [5] (разрешение энергоанализатора составляло 1%, коэффициент пропускания 1%).

Зависимость плотности тока от толщины образца представлена на рис. 2 в полулогарифмическом масштабе (плотность тока составляла  $10^{-11} \pm 10^{-15}$  А/см<sup>2</sup>). Следует отметить, что в экспериментах не наблюдалось запаздывания электронного тока относительно момента воздействия ионного пучка, т. е. ток появлялся одновременно с ионным пучком и пропал сразу после прекращения ионного воздействия. Был проведен контрольный эксперимент, заключающийся в том, что между ионным пучком и образцом помещалась танталовая заслонка толщиной 0,2 мм. В этом слу-

чае электронный ток не наблюдался. Следовательно, электронный ток возникал в результате облучения монокристаллов ионами аргона. После длительной бомбардировки образца ионами аргона (30 мин и больше) электронный ток уменьшался на 2 порядка до  $10^{-17}$  А/см<sup>2</sup> (до уровня фона). По-видимому, ионная бомбардировка вызывала разупорядочение поверхности монокристалла, что каким-то образом было

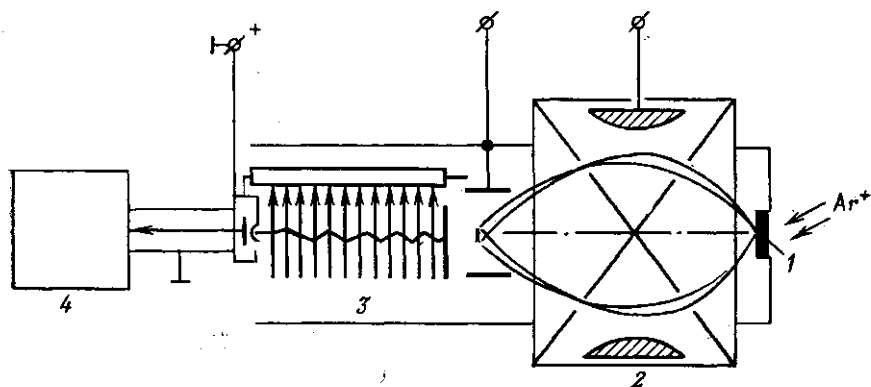


Рис. 1. Схема измерений: 1 — образец, 2 — энергоанализатор, 3 — вторичный электронный умножитель ВЭУ-1, 4 — электрометрический усилитель У1-6

связано с ослаблением тока. Восстановление поверхности с помощью шлифовки и электрополировки приводило к восстановлению величины электронного тока. При замене монокристаллического образца танталовой фольгой толщиной 0,1 мм эмиссии электронов не наблюдалось.

На рис. 3 приведено распределение по энергиям электронов, эмиттируемых монокристаллом вольфрама при облучении его ионами аргона (с противоположной стороны, грань (111)). Неожиданным результатом работы явилось обнаружение нескольких пиков, соответствующих очень высоким энергиям эмиттируемых электронов.

Рис. 2. Зависимость плотности тока от толщины монокристаллов: крестики — Мо, грань (111); кружочки — W, грань (111)

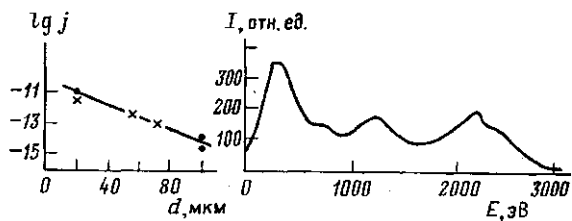


Рис. 3. Распределение по энергиям электронов, эмиттируемых с образца монокристалла вольфрама, грань (111),  $d = 100$  мкм

Наличие в спектре электронов с энергиями в несколько кэВ может быть связано с рентгеноэмиссией, так как электроны с такими энергиями имеют место в оже-процессе и рентгеноэмиссии [6]. По данным исследований, проведенных в растровом электронном микроскопе, плотность дислокаций в наших образцах составляла  $\sim 10^8$  на 1 см<sup>2</sup>, т. е. исследованные монокристаллы нельзя рассматривать как идеальные (для идеальной плотности дислокаций составляет  $10^8$  на 1 см<sup>2</sup> [7]). Если считать, что ослабление рентгеновского излучения связано только с прохождением его через образец вольфрама, то для длин волн, имеющих место в эксперименте, коэффициент ослабления должен быть порядка  $\sim 10^{10}$  [8, 9]. В нашем случае порядок коэффициента ослабления составлял  $10^8$ . Это различие можно объяснить монокристаллическостью образцов [7]. Однако ход зависимости плотности тока от толщины образца (см. рис. 2) говорит о том, что на самом деле ослабление значительно меньше, порядка  $10^2$ . Можно предположить, что наблюдаемый эффект связан с глубоким каналированием ионов или аномальным прохождением рентгеновских квантов через монокристалл вольфрама.

Был проведен эксперимент, в котором сразу же за образцом помещалась фото-пленка и образец облучался ионами. При облучении в течение 20 мин пленка не засвечивалась. Однако рентгеновское излучение, возникающее в данном случае, может быть настолько слабым, что время экспозиции было недостаточным, чтобы его зафиксировать. Во всяком случае исчезновение электронного тока при длительном облучении ионами поверхности монокристаллов, когда она протравливалась на глубину несколько микрон, свидетельствует о том, что определяющую роль для возникновения наблюдаемого эффекта играет кристаллическая структура. Однако этот вопрос требует дальнейших исследований, проведенных для различных граней при изменяемой энергии ионов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Маштакова В. А., Шишкин Б. Б. // Письма в ЖЭТФ. 1979. 30, № 2. С. 99. [2] Маштакова В. А., Пирогов Ю. А., Ковалев С. В. и др. // Изв. вузов. Радиофизика. 1985. 28, № 3. С. 372. [3] Дамаск А., Динс С. Точечные дефекты в кристалле. М., 1966. [4] Гусева М. Б., Бабаев В. Г. // Изв. АН СССР, сер. физ. 1973. 37, № 12. С. 2596. [5] Зашквара В. В., Ильин А. М., Крючков В. Ф. // ЖТФ. 1977. 47, № 7. С. 1572. [6] Электронная и ионная спектроскопия твердых тел / Ред. Л. Фирманс, Дж. Вээнник, В. М. Декейсер. М., 1981. [7] Афанасьев А. М., Александров П. А., Иمامов Р. М. Рентгеновская структурная диагностика в исследовании приповерхностных слоев монокристаллов. М., 1986. [8] Вайнштейн Э. Е., Кахана М. М. Справочные таблицы по рентгеновской спектроскопии. М., 1953. [9] Миркин Л. И. Рентгеноструктурный анализ. М., 1976.

Поступила в редакцию  
01.11.88

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1989. Т. 30, № 2

## ДЕПОНИРОВАНИЕ

УДК 612.1,532.5,535.8

Исследование гидродинамической неустойчивости стационарного потока в сосуде с сильным стенозом методом лазерной доплеровской анемометрии / Гвоздкова И. А., Полякова М. С.

На моделях кровеносных сосудов со стенозом (трубки с сужением) экспериментально методом лазерной доплеровской анемометрии за сужением найдена довольно протяженная область неустойчивости стационарного потока с числами Рейнольдса от 20 до 300. Площадь просвета в области пережатия трубки уменьшалась на 97%. На границе области, в которой наблюдались неустойчивые пульсации скорости, профиль скорости восстанавливал исходную параболическую форму, утраченную при прохождении через сужение.

Деп. ВИНТИ № 5064-В88 от 24.06.88

УДК 535.34

О природе длинноволновых полос поглощения ассоциированных молекул / Горбунова Л. Ю., Рыжиков Б. Д.

Исследуется природа двух максимумов в длинноволновой полосе поглощения ассоциированных молекул. Установлено, что возникновение этих полос связано не с экситонным расщеплением уровней мономерных молекул, а с одновременным присутствием в растворе димеров разных типов.

Деп. ВИНТИ № 8541-В88 от 02.12.88