

## АНОМАЛИИ ПРОЦЕССА АВТОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

*В.Э.Птицын, Г.Н.Фурсей, Н.В.Егоров*

Приведены результаты экспериментального исследования автоэлектронной эмиссии (АЭ) острых кристаллов W, Nb, Mo в магнитном поле. Обнаружено, что в процессе протекания тока АЭ большой плотности в магнитном поле происходит изменение состояния вещества эмиттера, приводящее к расширению (или сжатию) автоэмиссионного изображения, возникновению колебаний и обрыву тока АЭ во времени. Предполагается, что в этих условиях может иметь место фазовый переход металл – изолятор, стимулированный деформацией вершины острия.

В работе [1] на эмиттерах из W было установлено, что при определенных плотностях тока магнитное поле начинает оказывать существенное влияние на автоэлектронную эмиссию.

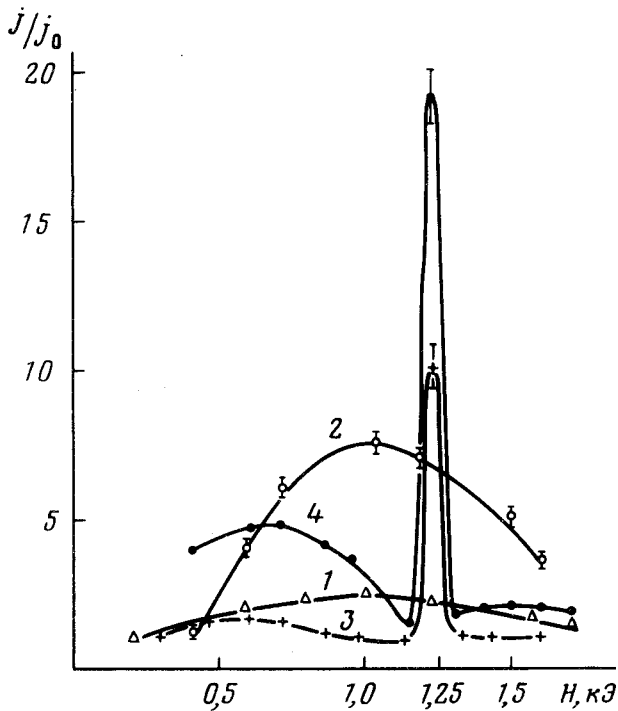


Рис.1. Зависимость величины магнитного эффекта от напряженности внешнего магнитного поля: 1 -  $W \langle 001 \rangle$ ,  $T = 77\text{K}$ ; 2 -  $Nb \langle 011 \rangle$ ,  $T = 300\text{K}$ ; 3 -  $W \langle 001 \rangle$ ,  $T = 300\text{K}$ ; 4 -  $W \langle 001 \rangle$ ,  $T = 77\text{K}$

В настоящей работе обнаружены новые эффекты при автоэлектронной эмиссии в магнитном поле на эмиттерах из  $W$ ,  $Nb$  и  $Mo$  (рис. 1 – рис.3)<sup>1)</sup>

1. Исследование зависимости относительного увеличения тока АЭ от напряженности магнитного поля  $H$  ( $j/j_0 = f(H)$ ), где  $j$ ,  $j_0$  – плотность тока АЭ в магнитном поле и без магнитного поля, соответственно) показало, что она имеет резко немонотонный характер (рис.1). Наблюдается два вида кривых  $j/j_0 = f(H)$  – с плавным максимумом, полученные на образцах, изготовленных из поликристаллических проволок  $W$ ,  $Nb$ ,  $Mo$ , текстурированных в направлении  $\langle 011 \rangle$ , и кривые с резкими максимумами для эмиттеров, изготовленных непосредственно из монокристалла  $W \langle 001 \rangle$  (рис.1).

2. В области резких максимумов (рис.1) обнаружено возбуждение колебаний тока АЭ во времени. Частота колебаний составляет  $10^3 \div 10^5$  Гц (рис.2, а). Для конкретного образца условия возбуждения колебаний критичны к величине плотности тока АЭ и напряженности магнитного поля. Для различных эмиттеров величины  $j_0$ , при которых происходит возникновение колебаний, могут несколько отличаться, составляя в среднем  $j_0 \approx (1 \div 2) \cdot 10^5$  А/см<sup>2</sup>.

При дальнейшем увеличении начальной плотности тока АЭ до  $j = (3 \div 5) \cdot 10^5$  А/см<sup>2</sup> наблюдается срыв колебаний и прекращение (обрыв) тока АЭ до окончания действия импульса напряжения (рис.2, б).

<sup>1)</sup> Эксперименты проводились в автоэмиссионном микроскопе-проекторе Мюллера в импульсном режиме. Давление остаточных газов  $p \leq 5 \cdot 10^{-10}$  Тор. Длительность импульса напряжения варьировалась в пределах  $10^{-4} \leq \tau \leq 3 \cdot 10^{-3}$  сек, магнитное поле в пределах  $0 \leq H \leq 2,0$  кЭ

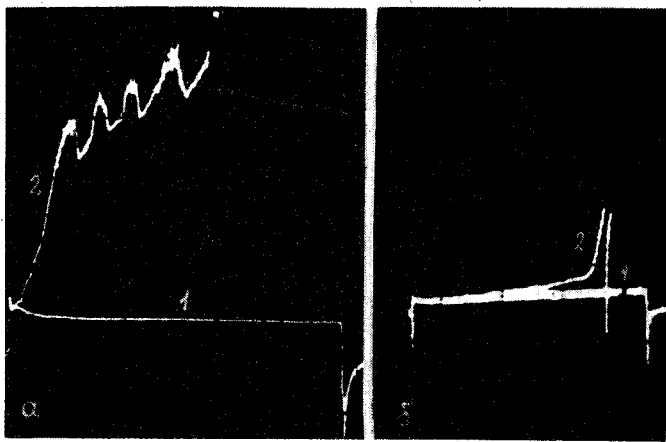


Рис.2. Изменение тока АЭ в магнитном поле во времени,  $W < 001 >$ : а - 1. -  $H = 0$ ; 2 -  $H = 1,25$  кЭ ( $j_0 = 2 \cdot 10^5$  А/см<sup>2</sup>); б - 1. -  $H = 0$ ; 2 -  $H = 1,25$  кЭ ( $j_0 = 3 \cdot 10^5$  А/см<sup>2</sup>)

Отметим, что указанные эффекты наблюдаются только при полях  $H$ , соответствующих областям резких максимумов (рис.1). Опыты на большом числе образцов однозначно свидетельствуют, что для всех других участков кривых  $j/j_0 = f(H)$  осцилляции и обрыв тока АЭ отсутствуют. Осциллограммы тока АЭ в магнитном поле при этом имеют вид кривых с насыщением [1].

3. Установлено, что под воздействием магнитного поля при протекании тока АЭ значительно изменяется размер эмиссионной картины. Измерения проводились в режиме "остаточного" эффекта, т.е. когда магнитное поле уже выключено, но образец еще не релаксировал к своему исходному состоянию. На большей части образцов наблюдалось расширение эмиссионной картины<sup>1)</sup>.

Относительное увеличение расстояний между центрами плотноупакованных граней на эмиссионном изображении достигало 10%. Специальные опыты по исследованию возможных изменений размеров эмиссионной картины только в сильном электрическом поле вплоть до предельных плотностей тока  $j \approx 10^7$  А/см<sup>2</sup> ( $E \approx (6 \div 7) \cdot 10^7$  В/см) показали, что в отсутствие внешнего магнитного поля увеличение размеров эмиссионной картины существенно меньше и составляет  $\approx \{1,0 \div 1,5\}\%$ .

4. Во всех областях кривых  $j/j_0 = f(H)$ , кроме участков резких максимумов (рис.1), имеет место отмеченное выше увеличение размеров эмиссионной картины, но, при этом, эмиссионное изображение существенно не изменяется и соответствует типичному изображению ато-

<sup>1)</sup> На образцах, изготовленных из несовершенной вольфрамовой проволоки, имевших на вершине дислокационные нарушения в виде "двойника", наблюдался обратный эффект - сжатие эмиссионной картины. Соответственно и изменение АЭ тока в магнитном поле ( $j/j_0$ ) было меньше единицы.

марно-чистой поверхности эмиттера (рис.3, а). В то же время в области резкого максимума кривых  $j/j_0 = f(H)$  на эмиссионной картине (рис.3, б), помимо увеличения расстояний между центрами граней, происходят значительные качественные изменения, которые свидетельствуют о сильном разупорядочении вещества эмиттера. Такое изменение состояния поверхности является необратимым во времени. Для восстановления исходного состояния поверхности и "чувствительности" к магнитному полю необходим интенсивный нагрев эмиттера (до  $T \approx 2500$  К).

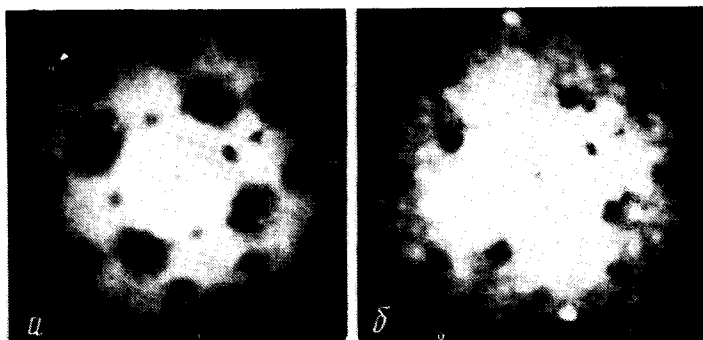


Рис.3.Изменение АЭ изображения после эмиссии в магнитном поле,  $W < 001 >$ : а — исходное,  $H = 0$ ; б —  $H = 1,25$  кЭ

Отметим, что "чувствительность" эмиттера к магнитному полю также пропадает при адсорбции на поверхности эмиттера атомов остаточных газов.

Результаты последних опытов показывают, что на процесс АЭ в магнитном поле существенное влияние оказывает характер рассеяния электронов поверхностью эмиттера.

Тем не менее, мы вынуждены констатировать, что в настоящее время предложить законченную модель явления затруднительно. Это вызвано тем, что в данном явлении могут оказаться взаимосвязанными целый ряд факторов: в частности, это большие плотности тока АЭ (до  $10^7$  А/см<sup>2</sup>), протекающего во внешнем магнитном поле; размерные факторы (радиус эмиттера  $\approx 10^{-5}$  см); значительные отрицательные давления (до  $\approx 2,5 \cdot 10^8$  Н/см<sup>2</sup>) на эмиттер, температура которого  $\approx 1000$  К; большое отношение поверхности образца к его объему ( $\approx 10^5$  см<sup>-1</sup>) и, наконец, наличие границы раздела фаз — обрыв решетки кристалла.

Однако, можно утверждать, что важную роль в явлении играет деформация образца. Об этом свидетельствует изменение размера эмиссионной картины, зависимость процессов от совершенства микрокристалла и температуры эмиттера. Отметим, что  $j/j_0$  существенно больше единицы при температурах образца ниже температуры Дебая —  $\Theta$  и почти не зависит от  $H$  при  $T > \Theta$ , при этом  $j/j_0 \gg 1$ . Деформацией, в частности, можно объяснить рост АЭ тока во времени и расширение

эмиссионной картины, как следствие изменения формы и размеров эмиттирующей вершины микрокристалла.

Наконец, имеются основания предполагать, что в результате деформаций может произойти фазовый переход металл – изолятор [2], который приводит к обрыву АЭ тока (рис.2, б).

В заключение авторы приносят глубокую благодарность А.П.Смирнову, А.И.Шальникову и Л.П.Страхову за обсуждение результатов работы и ряд ценных замечаний.

Ленинградский электротехнический институт  
связи им. проф. М.А.Бонч-Бруевича

Поступила в редакцию  
25 февраля 1980 г.  
После переработки  
18 апреля 1980 г.

### Литература

- [1] Г.Н.Фурсей, В.Э.Птицын, Н.В.Егоров. Письма в ЖТФ, 5, 1161, 1979.  
[2] Н.Ф.Мотт. Переходы металл – изолятор. М., изд. Наука, 1979.
-