

01; 05.4; 11

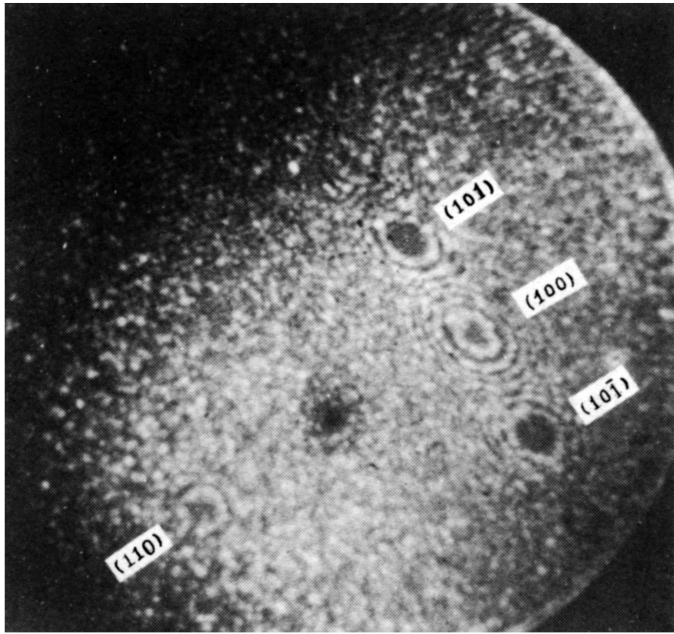
© 1991

РАСЧЕТ ЛОКАЛЬНОГО РАДИУСА КРИВИЗНЫ
ПОВЕРХНОСТИ ВЕРШИНЫ ОСТРИЯ $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ Е.Ф. Таланцев, В.А. Ивченко,
Н.Н. Сюткин

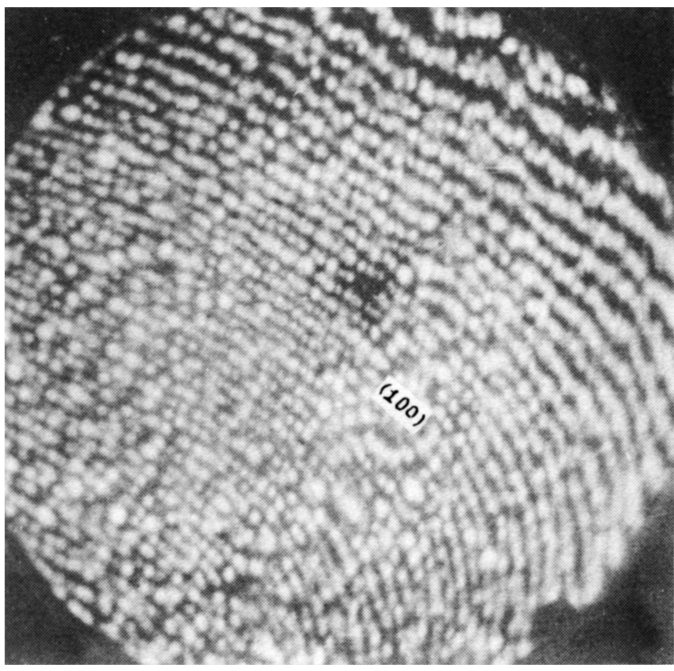
Обработка экспериментальных данных, полученных при исследовании полевой эмиссии электронов из высокотемпературных сверхпроводников, связана, в частности, с определением основного независимого параметра – напряженности электростатического поля E на эмитирующей поверхности. Искомую напряженность поля E можно рассчитать численно [1], однако для этого необходима информация об основных геометрических параметрах эмиттера – локальном радиусе кривизны поверхности вершины острия, угле раствора конуса при вершине и т.д. Несмотря на то, что профиль образца-острия достаточно хорошо регистрируется в просвечивающем электронном микроскопе, локальный радиус закругления вершины эмиттера с достаточной точностью можно определить только по ионным микрокартинам изучаемого кристалла [2].

Стандартный метод вычисления локальных радиусов кривизны вершины эмиттера основывается на рассмотрении краев плоских атомных дисков как горизонталей на рельефной карте вершины острия [2]. Использование указанной методики для расчета радиуса кривизны эмиттеров из высокотемпературных сверхпроводников связано со значительными трудностями, которые обусловлены спецификой ионного контраста $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Высокая тетрагональность элементарной ячейки ВТСП обуславливает сильное различие в морфологическом развитии граней на ионных микрокартинах, при этом количество визуализируемых граней крайне мало. В качестве примера (рис. 1, а) приведен ионный контраст полностью сформированного полевым испарением $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (т.е. так называемая конечная форма (*end form*) острейного эмиттера). Отметим, что ионное изображение „*end form*” чистых металлов [3], демонстрирует сотни граней. В зоне $[010]$ наблюдается, как правило, не более трех граней (100) , (101) , $(10\bar{1})$ (рис. 1, а), причем у сформированных граней (101) можно различить не более двух-четырёх колец плоских атомных дисков, что не позволяет

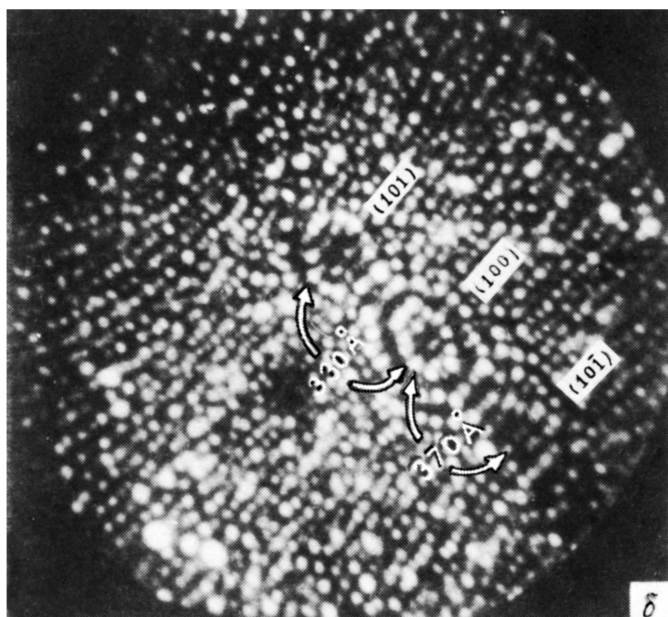
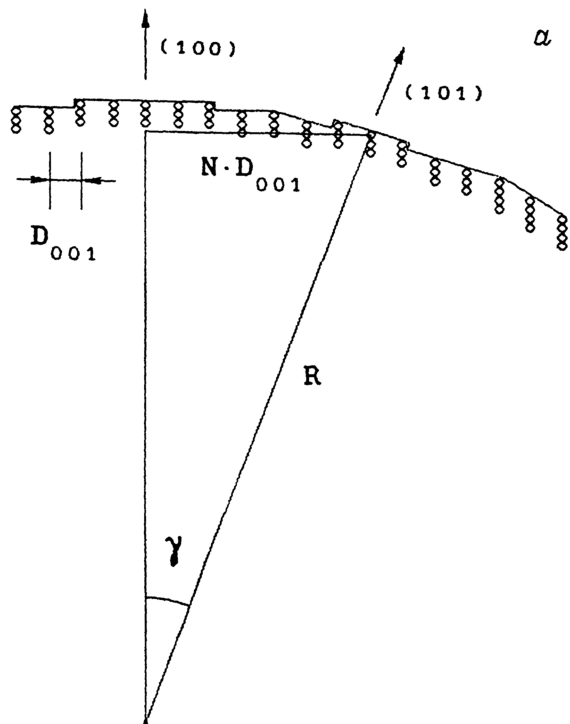
Рис. 1. Полевые ионные изображения ВТСП эмиттеров с индексами Миллера для морфологически развитых граней. а – „*end form*” $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ($V = 20$ кВ, $T = 78$ К), б – $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ($V = 9$ кВ, $T = 78$ К).



α



δ



δ

Угол γ между кристаллографическими плоскостями (100) и (10L) и коэффициенты $\frac{D_{001}}{\sin(\gamma)}$ для расчета локального радиуса кривизны вершины острейшего эмиттера $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

(hkl)	(101)	(102)	(103)	(10 $\bar{1}$)	(10 $\bar{2}$)	(10 $\bar{3}$)
γ (радиан)	0.320	0.586	0.784	0.320	0.586	0.784
$\frac{D_{001}}{\sin(\gamma)}$ (Å)	37.1	21.2	16.6	37.1	21.2	16.6

воспользоваться стандартным методом расчета [2] для определения радиуса вершины эмиттера. При ориентации эмиттера $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ [001] на ионных микрокартинах визуализируется единственный морфологически развитый полюс, образованный пирамидальной стопкой иттриевых (или атомов редкоземельного элемента) плоскостей (001) [4]. Грани (100), (101) не регистрируются, так как угол γ между полюсами (001) и (101), $\gamma > 60^\circ$. В связи с этим, применение методики [2] для $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ не может быть эффективным.

Таким образом, цель настоящей работы состояла в разработке методики расчета локальных радиусов закругления вершины эмиттера $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ из полевых ионных изображений.

Как правило, ориентация острейшего эмиттера $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ принадлежит зоне [001] (рис. 1), т.е. направление вектора элементарной трансляции \vec{c} перпендикулярно оси образца. Для типичных полевых ионных изображений $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (рис. 1, б) характерно наличие полосчатого контраста, который образован пересечением базисных (001) иттриевых (или редкоземельного элемента) плоскостей с полусферической поверхностью вершины эмиттера. Так как межплоскостное расстояние D_{hkl} между иттриевыми плоскостями (001) известно [5], естественно рассматривать эти плоскости как вертикальные срезы на рельефной карте вершины острья. Отсюда для расчета локального радиуса r эмиттера достаточно подсчитать количество полосок контраста N , расположенных между центром грани (100) (полюсом (100)), наиболее морфологически развитой в данной зонной цепочке полюсов, и центром любой из сформированных граней (10L) (полюсом (10L)). Действ-

Рис. 2. Пояснительный чертеж к расчету локального радиуса кривизны поверхности вершины острья $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (на схеме поперечного среза вершины ВТСП катода изображена только подрешетка атомов R) (а) и вычисленный локальный радиус кривизны на полевом ионном изображении эмиттера $Y\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (б) ($V = 3$ кВ, $T = 78$ К).

вительно (рис. 2, а), произведение $N \cdot D_{001}$ является противолежащим катетом для известного угла γ между полюсом (100) и (101). Отсюда локальный радиус закругления вершины эмиттера дается соотношением:

$$r = \frac{D_{001}}{\sin(\gamma)} \cdot N.$$

Применение описанной методики к $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ демонстрируется на рис. 2, б.

В таблице приведены коэффициенты $\frac{D_{001}}{\sin(\gamma)}$, которые удобно использовать при практических расчетах локального радиуса кривизны поверхности вершины острья $RBa_2Cu_3O_{7-x}$.

Таким образом, в данной работе предложена методика расчета локального радиуса закругления вершины острых эмиттеров

$RBa_2Cu_3O_{7-x}$.

Настоящая работа выполнялась в рамках проекта № 90179 ГКНТ СССР.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] S m i t h P.J., S m i t h D.A. // Phil. Mag. 1970. V. 21. N 173. P. 907-919.
- [2] D r e c h s l e r M., W o l f P. In. Proc. IV Intern. Congr. Electron Microscopy. Berlin, 1958, Springer-Verlag, Berlin, 1960. V. 1. P. 835.
- [3] М ю л л е р Э.В. // УФН. 1962. Т. 77. В. 3. С. 481-552.
- [4] M e s y a t s G.A. et al. // J. de Phys. 1988. V. 49-C6. P. 477-481.
- [5] D a r l i n g t o n C.N.W. et al. // J. Crystals Growth. 1988. V. 91. P. 308-311.

Поступило в Редакцию
7 июля 1991 г.