

05.4; 11

© 1992

АТОМНАЯ СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ ВТСП КАТОДА
 $YBa_2Cu_4O_8$ В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХЕ.Ф. Таланцев, В.А. Ивченко, Н.Н. Сюткин,
С.Г. Титова, С.П. Толочко, И.Ф. Кононюк

Эмиссионные свойства материалов в значительной мере определяются строением, составом и кристаллографией поверхности твердого тела [1]. Неизменность состояния поверхности является одним из основных условий надежной работы полевых эмиссионных катодов и, в частности, катодов из высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

Возможные применения ВТСП в вакуумной микроэлектронике [2] необходимо связаны с исследованиями атомной структуры поверхности [3] и эмиссионных свойств [4] металлооксидных сверхпроводников.

Перспективное использование $YBa_2Cu_4O_8$ в качестве полевого эмиссионного катода может быть обусловлено тем, что именно стехиометрическому составу соответствуют значения критической температуры (T_c) [5]. Указанная особенность ВТСП $YBa_2Cu_4O_8$ дает основания предполагать высокую стабильность поверхности (и эмиссионных свойств) в условиях сверхвысокого вакуума.

Известно [1], что неоднородность полевой эмиссии электронов определяется кристаллографической структурой и составом эмиттирующей поверхности, поэтому исследования реального строения поверхности на атомном уровне имеют основополагающее значение для создания высокоэффективных катодов на основе новых материалов.

В настоящей работе атомная структура поверхности $YBa_2Cu_4O_8$ изучалась методом полевой ионной микроскопии (ПИМ) [6]. Возможности ПИМ позволяют не только исследовать строение чистой поверхности металлов и сплавов на уровне единичных атомов, но и, используя полевое испарение атомов материала образца при криогенных температурах, изучать структуру кристалла в объеме [6].

Синтез исходных образцов $YBa_2Cu_4O_8$ проводился по керамической технологии при $T=800^\circ\text{C}$ в атмосфере кислорода из цитратов иттрия, бария и меди. Температуры фазового перехода „сверхпроводник–нормальное состояние” составляли $T_c=83\text{ K}$ (ширина перехода $\Delta T_c=9\text{ K}$).

Объекты исследования – полевые эмиссионные катоды–изготавливались по методу „the sharp of pointed–sharp” [7]. В качестве изображающего газа при исследовании $YBa_2Cu_4O_8$ в ПИМе [8] применялся молекулярный азот [8].

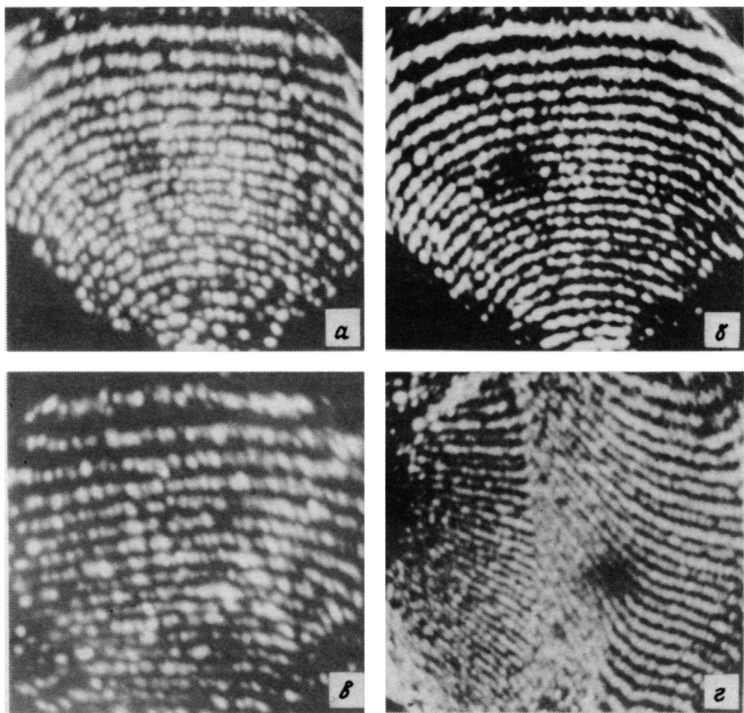


Рис. 1. Полевые ионные изображения поверхности ВТСП фаз в системе γ -Ba-Cu-O : а - $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$, время экспозиции $t = 0.5$ с, $V = 5$ кВ; б - $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$, время экспозиции $t = 5$ с, $V = 6$ кВ; в - $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.90}$, время экспозиции $t = 1$ с, $V = 4$ кВ; г - $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$, с неполусферической вершиной катода, время экспозиции $t = 5$ с, $V = 16$ кВ.

Полевые ионные изображения $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ (рис. 1) имели типичный для ВТСП (и, в частности, для $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$) полосчатый контраст. Каждая полоса контраста, состоящая из отдельных точек - изображений атомов в изломе ступеней, представляет собой край кристаллографической плоскости (OOL) на полусферической атомногладкой поверхности вершины полевого эмиссионного катода. Кристаллографический анализ полученных ионных микрокартин показал, что практически всегда ориентация образцов-эмиттеров принадлежала зоне $[001]$, т. е. вектор элементарной трансляции \vec{c} имел направление перпендикулярно оси образца. В целом, полевые ионные изображения $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ не отличались от ионных микрокартин $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (рис. 1). Поэтому можно сделать вывод, что атомное строение поверхности ВТСП катодов $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ и $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ практически идентично.

По кристаллохимическому строению (рис. 2) ВТСП фазы $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ и $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ очень близки. Небольшое различие

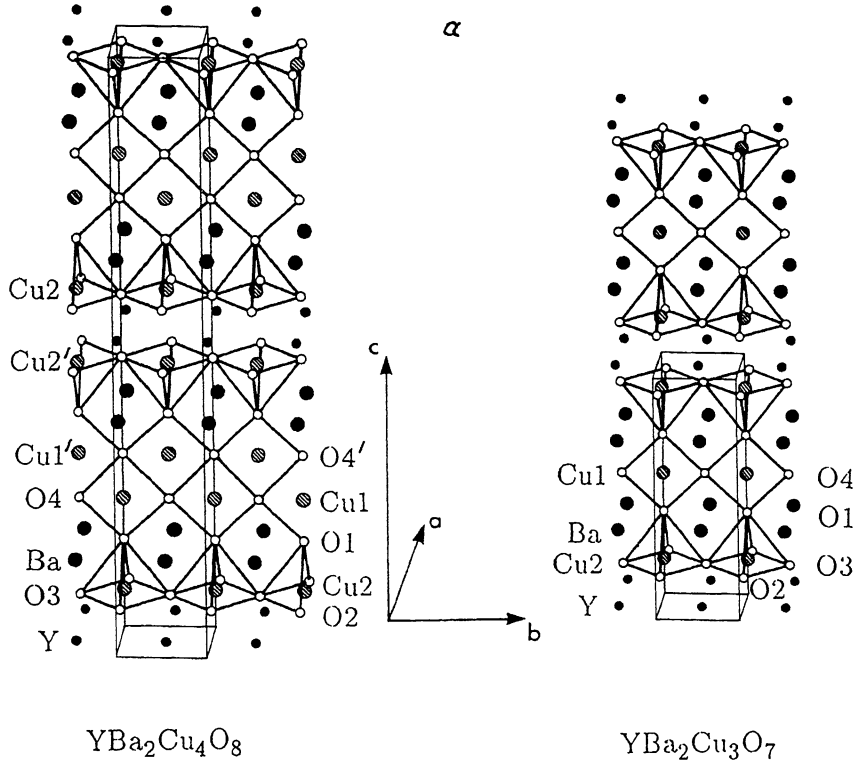


Рис. 2. Кристаллохимическое строение (а) [13] и смоделированные полевые ионные изображения ВТСП $YBa_2Cu_4O_8$ (б-г) и $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (д) (радиус кривизны поверхности при вершине острья $R = 21.5$ нм, ориентация эмиттера $[1001]$ в предположении селективной изображаемости: б - атомов меди в позициях $Cu1$; в - цепочек атомов $Cu1-O4$; г - атомов иттрия; д - атомов иттрия.

состоит в том, что в $YBa_2Cu_4O_8$ имеется не одна (как в $YBa_2Cu_3O_{7-x}$), а две цепочки атомов $Cu1-O4$. Согласно [9], именно атомы $Cu1-O4$ и изображаются на ионных микрокартинах $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. С альтернативных точек зрения преимущественный вклад в изображение дают атомы иттрия [8], или атомы $Cu1$ [10] (дискуссия по этому вопросу содержится в [11]). В связи с тем, что ионный контраст поверхности ВТСП фаз $YBa_2Cu_4O_8$ и $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ практически одинаков, вопрос изображаемости атомов в ВТСП соединениях системы $Y-Ba-Cu-O$ получает следующее продолжение.

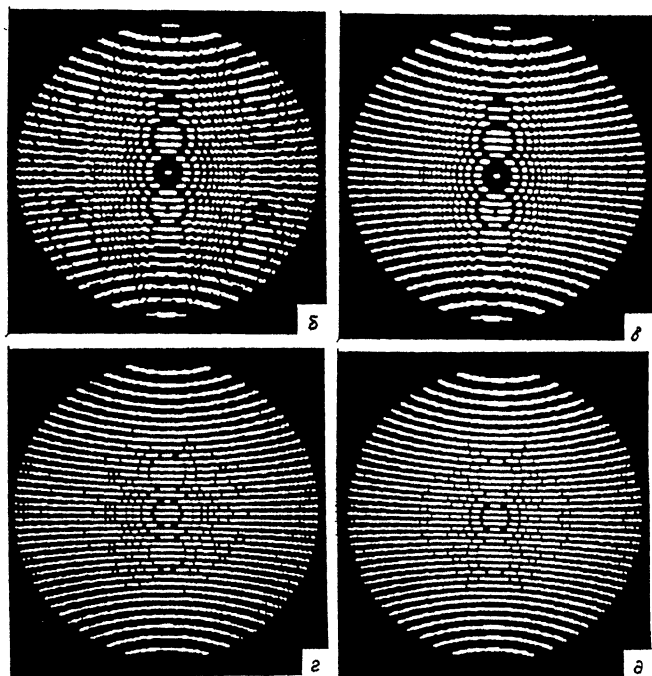


Рис. 2. (продолжение).

Для определения преимущественно изображающегося сорта атомов на ионных микрокартинах $YBa_2Cu_4O_8$ в данной работе выполнено численное моделирование ионного контраста [12]. Кристаллографический анализ реальных и рассчитанных ионных микрокартин поверхности показал, что преимущественный вклад в полевые ионные изображения дают атомы иттрия. В предположении изображаемости других сортов атомов не удается получить адекватного соответствия между рассчитанными ионными микрокартинами двух ВТСП фаз $YBa_2Cu_4O_8$ и $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, в то время как эти соединения имеют практически одинаковые полевые ионные изображения. Отличие ионного контраста поверхности $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ и $YBa_2Cu_4O_8$ должно проявляться в незначительном изменении последовательности морфологического развития граней в зонах $[100]$ и $[010]$.

Таким образом, в настоящей работе проведено исследование структуры поверхности ВТСП катода $YBa_2Cu_4O_8$ на атомном уровне. Показано, что строение поверхности ВТСП катодов $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и $YBa_2Cu_4O_8$ в атомном масштабе практически идентично.

Данная работа выполнялась в рамках Государственных программ № 91190 и № 90033.

- [1] Е л и н с о н М.И., В а с и л ь е в Г.Ф. Автоэлектронная эмиссия. М.: Физматгиз, 1958.
- [2] S h k u r a t o v S.I. // Surface Science. 1922. V. 266. P. 88-99.
- [3] Т а л а н ц е в Е.Ф., И в ч е н к о В.А. и др. // СФХТ. 1990. Т. 3. № 8. С. 1718-1725.
- [4] S h k u r a t o v S.I. et al. // Surface Science. 1922. V. 266. P. 224-231.
- [5] Y a m a d a Y. et al. // Physica C. 1991. V. 173. P. 185-194.
- [6] М ю л л е р Э.В., Ц о н ь Т.Т. Автоионная микроскопия (принципы и применение). М.: Металлургия, 1972. 360 с.
- [7] M e l m e d A.J. et al. // J. de Phys. 1988. V. C6-49. P. 67-71.
- [8] M e s y a t s G.A. et al. // J. de Phys. 1988. V. C6-49. P. 477-481.
- [9] M e l m e d A.J. et al. // Science. 1988. V. 239. P. 176-178.
- [10] M e l m e d A.J. et al. // J. de Phys. 1988. V.C6-49. P. 459-464.
- [11] Proc. 36th IFES. // J. de Phys. 1988. V. C6-49. P.447-500.
- [12] M o o r e A.J.W. // J. Phys. Chem. Solids. 1962. V.23. P. 907-912.
- [13] N e l m e s R.J. et al. // Physica C. 1990. V. 172. P. 311-324.

П о с т у п и л о в Р е д а к ц и ю
29 апреля 1992 г.