

11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА
 МОНОКРИСТАЛЛОВ $EuBa_2Cu_3O_{7-x}$ $TbBa_2Cu_3O_{7-x}$
 И $DyBa_2Cu_3O_{7-x}$

Ю.А. В л а с о в, О.Л. Г о л у б е в,
 А.А. С а м о х в а л о в, Н.Н. С ю т к и н,
 Е.Ф. Т а л а н ц е в, Н.М. Ч е б о т а е в,
 В.Н. Ш р е д н и к

В общем комплексе изучения свойств поверхности новых материалов высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) определение работы выхода φ занимает важное место, поскольку φ — это не только параметр, регулирующий эмиссию электронов и ионов, но прежде всего простая характеристика, коррелирующая со структурой поверхности, степенью ее однородности и чистоты. Однако данных по измерению φ сверхпроводящих перовскитов крайне мало, пока речь не идет о каком-либо детальном анализе обширного материала, речь идет о получении первых сведений.

Разумеется, φ интересно измерить при низких температурах, когда материал является сверхпроводящим (и когда его поверхность в вакууме сохраняет свой состав и структуру). При этом метод должен обеспечивать контролируруемую чистоту поверхности и позволять судить о ее реальной структуре. К таким методам относятся методы полевой эмиссионной микроскопии, использующие автоэлектронную эмиссию в сочетании с полевой ионной для определения φ , полевое испарение и полевую десорбцию для очистки поверхности, полевую ионную микроскопию с атомным разрешением, а также полевую ионную спектроскопию (атомный зонд) для детальной диагностики поверхности. Именно эти методы были применены в данной работе.

В качестве объектов были выбраны монокристаллы соединений $MeBa_2Cu_3O_{7-x}$, где $Me:Eu, Tb$ и Dy , а x около 0.1 с температурой фазового перехода T_C около 90 К. Монокристаллы изготавливались по технологии, описанной для $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ в [1]. Объекты полевой эмиссионной микроскопии приготавливались по методике, описанной там же. Эксперименты проводились в камере широкоугольного атомного зонда [1]. Порядок обработки образцов и измерений был следующий: 1) в ионном режиме с азотом в качестве изображающего газа при давлении 10^{-6} – 10^{-4} Тор визуализировалась с атомным разрешением поверхность $MeBa_2Cu_3O_{7-x}$, контролируемым образом проводилось полевое испарение до выявления регулярной структуры, присущей кристаллу; 2) в электронном режиме в вакууме на уровне 10^{-9} Тор (использовались электроразрядный и титановый сорбционный насосы) наблюдались автоэлектронные изображения и снимались вольт-амперные характеристики;

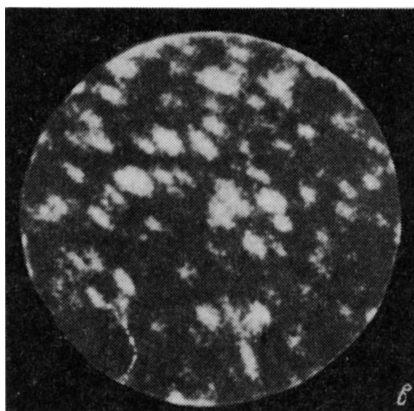
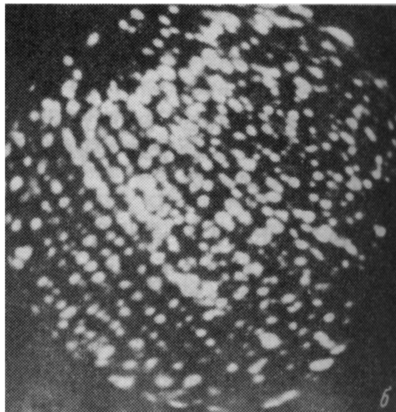
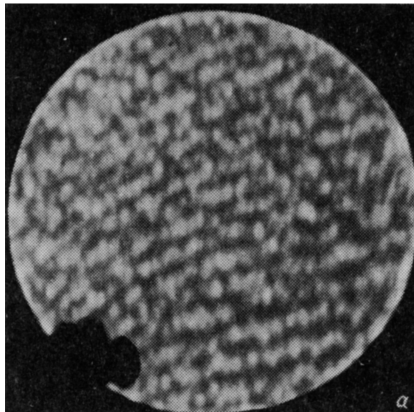


Рис. 1. Полевые ионные изображения монокристаллов $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (а), $\text{TbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (б) и $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (в). Изображающий газ - азот, $T \approx 80$ К. Напряжения V : 12500 В (а), 11000 В (б), 7400 В (в). Снимки „а“ и „в“ получены с части поверхности образцов в камере атомного зонда, снимок „б“ - в полевом ионном микроскопе.

3) в случаях перовскитов с Eu и Tb электронным измерениям и повторным наблюдениям ион-

ных картин предшествовали опыты по получению разнообразных спектров в режиме атомного зонда, эти спектры давали представление о составе поверхности и о примесях, удаляемых в процессе ее очистки. Все перечисленные выше действия производились при охлаждении образца жидким азотом.

На рис. 1 приведены примеры ионных изображений для трех изученных материалов. Во всех случаях ориентация монокристалла была такова, что ось скругленного полевым испарением образца в виде острого конца пирамидального осколка была перпендикулярна оси C . Вблизи вершины образца ось C лежала в плоскости поверхности, а в окрестностях вершины составляла с поверхностью некоторый небольшой угол. После надлежащего полевого испарения скругленная поверхность кристалла состояла из ступеней, примерно параллельных оси C на краях которых оказывались атомы редкоземельного металла, выявленные селективно при полевой ионизации азота [2]. Ряды таких ступеней отчетливо выделяются на приводимых ионных изображениях кристаллов $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (рис. 1, а) и $\text{TbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (рис. 1, б).

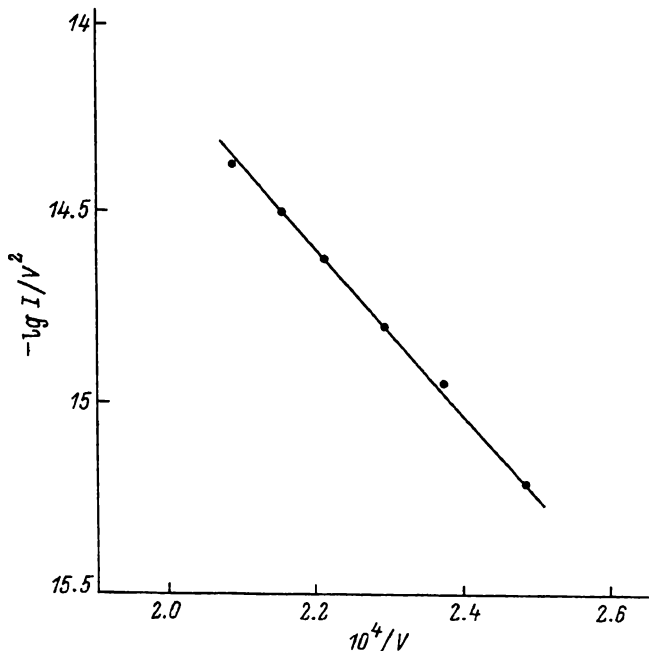


Рис. 2. Характеристика Фаулера-Нордгейма для образца из $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, использовавшегося для определения работы выхода.

Теория автоэлектронной эмиссии Фаулера-Нордгейма [3], которой мы пользовались для определения φ , построена для металлов. Мы вынуждены были допустить, что в своей экспоненциальной части формула для плотности тока j верна и для исследуемых проводящих перовскитов. Вольт-амперная характеристика строилась в координатах $\lg(I/V^2) = f(1/V)$ (так называемая характеристика Фаулера-Нордгейма (Ф-Н). Здесь I - ток автоэлектронной эмиссии, V - электрическое напряжение. Пример такой характеристики для образца, содержащего Eu , показан на рис. 2. В наклон характеристики Ф-Н кроме известных констант входит отношение $\varphi^{3/2}/\beta$ [3], где β - полевой множитель, $\beta = E/V$ (E - напряженность электрического поля). Для того, чтобы по наклону характеристики Ф-Н вычислить φ , необходимо знать β из каких-либо дополнительных опытов.

Мы определяли β из так называемого поля наилучшего изображения $E_{\text{НИ}}$ в полевоионном микроскопе [4], которое для данного изображающего газа примерно постоянно для различных металлов. Для оценки β могли быть полезны также величины полей появления и исчезновения элементов ионного изображения, хотя

№№ п/п	Материал монокристалла	Ориентация образца	φ (эВ)	Примечания
1	$\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$	Ось об- разца пер- пендику- лярна оси с	4.0 ± 0.2	Непосредственно после полевого испарения в атомном зонде
2	$\text{TbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$		5.1 ± 0.2	
3	$\text{TbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$		3.9 ± 0.2	После многократных перегрузок автоэмиссионным током
4	$\text{TbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$		4.1 ± 0.4	После глубокого полевого испарения с затуплением острия
5	$\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$		5.4 ± 0.4	

эти величины несколько зависят от давления изображающего газа. Все эти поля при получении ионных картин в азоте и при охлаждении жидким азотом были прокальброваны по вольфраму, ориентированному по направлению $\langle 111 \rangle$, для которого $\varphi \approx 4.4$ эВ хорошо известна. Однако применение полученных таким путем β приводило к невероятно большим величинам φ (до 7–8 эВ) исследуемых материалов. Кристаллы изучаемых перовскитов отличаются от металлов наличием сильно полярных ионных межатомных связей. Такие связи должны усиливать полевой контраст у поверхности и снижать $E_{\text{НИ}}$. В качестве подходящей модели проводящей поверхности с полярными связями, похожими на связи в изучаемых материалах, была выбрана поверхность микровыступа, выращенного в центре образца вольфрама с ориентацией $\langle 111 \rangle$ по оси, который после надлежащей калибровки β (в чистом состоянии по характеристике Ф-Н) был подвергнут коррозии в течение месяца в атмосфере остаточных газов при давлении $10^{-3} - 10^{-4}$ Тор при комнатной температуре. При этом рельеф поверхности сохранялся (он резко менялся лишь после прогрева до красного каления), ей приписывался прежний коэффициент β . Однако $E_{\text{НИ}}$ в атмосфере азота (при давлении $10^{-4} - 10^{-6}$ Тор) оказалось в 1.7 раза ниже, чем для чистого вольфрама, а поля появления и исчезновения в 1.8 раза ниже. Эти величины полей, а именно $E_{\text{НИ}} = 1.32 \cdot 10^8$ В/см (и $6.5 \cdot 10^7$ В/см и $7 \cdot 10^7$ В/см для полей появления и исчезновения), были приняты затем для определения β материалов ВТСП. Было бы лучше воспроизвести на поверхности с известной и не меняющейся от самой процедуры β именно те структуры и связи, которые свойственны изучаемым материалам ВТСП. Однако осуществление этого составляет особую проблему. Некоторая неопределенность, связанная с предложенным выбором $E_{\text{НИ}}$ (которая может быть уменьшена при последующих лучших калибровках), — цена за возможность пользоваться уникальными по контролируемости очистки и визуализации поверхности полевыми эмиссионными методами.

С применением описанного определения β по наклону характеристик Φ - N были измерены ψ в пяти случаях, представленных в таблице.

Полученные величины ψ колеблются в пределах 3.9-5.4 эВ для этих трех близких по природе веществ и в пределах 3.9-5.1 эВ для одного и того же образца с тербием. Разброс связан, на наш взгляд, с различным состоянием поверхности после обязательного для удаления адсорбированных газов полевой десорбцией подъема напряжения до максимального V , использовавшегося в ионном режиме. Большие погрешности обусловлены трудностями определения на глаз состояния с наилучшим (наиболее резким и четким) изображением. Сам отбор автоэлектронного тока изменяет состояние поверхности тем сильнее, чем больше ток, поэтому слишком большие токи (выше 200 нА) не отбирались. При перегрузках током происходят „срывы”: слабые, изменяющие β , или сильные, практически уничтожающие образец.

В известных нам определениях ψ $UVa_2Cu_3O_{7-x}$ по методу КРП [5] и автоэмиссионными методами [6] были получены величины около 6 эВ, а также сообщалось о возрастании ψ до 7-8 эВ по мере обеднения поверхности кислородом. Опыты эти проводились при комнатной температуре. В наших случаях все определения выполнены при охлаждении образцов жидким азотом, в вакууме на уровне 10^{-9} Тор с предварительным удалением поевым испарением многих атомных слоев. Поэтому мы можем утверждать, что измеренные ψ в интервале 3.9-5.4 эВ действительно относятся к изучаемым монокристаллам, поскольку их типичная структура подтверждена прямым наблюдением рядов, параллельных оси с атомным разрешением, а состав (наличие бария, редкоземельных металлов, отсутствие гидроокисей) проверен *in situ* с помощью атомного зонда.¹

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] В л а с о в Ю.А., Г о л у б е в О.Л., С а м о х в а л о в А.А., С ю т к и н Н.Н., Т а л а н ц е в Е.Ф., Ч е б о т а е в Н.И., Ш р е д н и к В.Н. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 16. С. 62-67.
- [2] М е с я ц Г.А., С ю т к и н Н.Н., И в ч е н к о В.А., Т а л а н ц е в Е.Ф. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В.16. С. 1504-1507.
- [3] Ненакаливаемые катоды / Под ред. М.И. Елинсона, М.: Советское радио, 1974.
- [4] М ю л л е р Э.В., Ц о н ь Т.Т. Автоионная микроскопия (принципы и применения). М.: Металлургия, 1974.

¹ Эксперименты с атомным зондом будут подробно описаны в других статьях.

- [5] В е д у л а Ю.С., М е с я ц В.Г., П о п л а в с к и й В.В., Ш к у р а т о в С.Н. Тез. докл. 2 Всес. конф. по ВТСП, Киев. 1989.
- [6] Б а х т и з и н Р.З., М е с я ц В.Г., Ш к у р а т о в С.И. Тез. докл. 1-го Всес. сов. по ВТСП, Харьков, 1988, с. 147; К р е й н д е л ь Ю.Е. Доклад на Совещании по ВТСП, Гатчина, май 1989.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
10 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 24

26 декабря 1989 г.

(07)

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПИКОСЕКУНДНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 1.32 МКМ

В.Ю. П е т р у н ь к и н, В.С. С ы с у е в,
А.С. Щ е р б а к о в, Д.З. Г а р б у з о в,
Ю. В. И л ь и н, И.С. Т а р а с о в

Для высокоскоростных информационных систем представляют интерес источники сверхкоротких оптических импульсов, работающие в диапазоне длин волн 1.3–1.6 мкм, где кварцевое волокно обладает предельно малыми потерями, имеется точка нулевой дисперсии, а также возможна реализация солитонного режима передачи информации. В качестве источников сверхкоротких импульсов с высокой частотой повторения в ИК-диапазоне могут быть использованы: а) солитонный лазер на центрах окраски [1]; б) явление ВКР-генерации света в волоконном световоде при накачке $YAG: Nd$ -лазером с синхронизацией мод [2]; в) эффект модуляционной неустойчивости [3–5], позволяющий получать пикосекундные импульсы с частотами повторения до нескольких сотен гигагерц. Однако применение таких источников в информационных системах не оправдано в связи с тем, что для солитонного лазера и ВКР-генератора необходимы мощные лазеры накачки, установки оказываются очень громоздкими, а в источниках на основе модуляционной неустойчивости возникают трудности, связанные с устранением чирпа в импульсах. Таким образом, для практического применения в системах передачи и обработки информации, а также в оптических компьютерах целесообразно опереться на использование компактного источника непрерывной последовательности сверхкоротких импульсов (СКИ) с высоким КПД, являющегося полностью адекватным таким системам. Этим требованиям, по-видимому, удовлетворяет источник СКИ на основе полупроводникового лазера.