

- [5] Haas W.E., Nelson K.F., Adams J.E. // Journ. Electrochem. Soc. 1974. V. 121. P. 1667-1669.
- [6] Кутуля Л.А., Немченко И.Б. В кн.: 1У Всес. конф. „Жидкие кристаллы и их практическое использование“. Тез. докл. Чернигов: Черниговский педагогический институт. 1988. Т. 1. С. 16.
- [7] Марусий Т.Я., Резников Ю.А., Решетняк В.Ю., Соскин М.С., Хижняк А.И. // ЖЭТФ. 1986. Т. 91. В. 9. С. 851-860.
- [8] Беляков В.А., Сонин А.С. Оптика холестерических жидких кристаллов, М.: Наука, 1982. 360 с.

Институт физики
АН УССР, Киев

Поступило в Редакцию
10 апреля 1989 г.
В окончательной редакции
20 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 23 12 декабря 1989 г.

05.4;11

УПРУГОЕ ОТРАЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ СРЕДНЕЙ ЭНЕРГИИ ОТ ПОВЕРХНОСТИ ВТСП-КЕРАМИКИ

М.В. Гомоюнова, А.К. Григорьев,
И.И. Пронин, А.Е. Роднянский

С момента открытия ВТСП-материалов в их исследованиях широко применяются методы электронной спектроскопии, в частности электронная оже-спектроскопия (ЭОС) и спектроскопия потерь энергии электронов. Мы расширили арсенал этих средств и впервые изучили угловые распределения электронов средней энергии, упруго отраженных от поверхности $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ - керамики. Кроме того, в работе использованы методы ЭОС и спектроскопии потерь энергии в наиболее информативном их варианте - с угловым разрешением. В настоящем кратком сообщении приведены лишь некоторые из полученных результатов. Более полно они будут опубликованы позднее.

Исследования проведены на вторично-электронном спектрометре с угловым разрешением, описанным в [1, 2]. Энергетическое разрешение анализатора составляло 0.4 %, а угловое разрешение $\sim 1^\circ$. Образец мог охлаждаться до температуры кипения жидкого азота, следовательно, была доступна область температур T , включающая T_c фазового перехода в сверхпроводящее состояние. Упруго отраженные электроны (УОЭ) регистрировались в форме $N(E)$, а спектры оже-электронов снимались в виде $dN(E)/dE$. Измерения проведены в диапазоне энергий E бомбардирующих электронов 0.25-

1.5 кэВ при $T = 300 \text{ K}$ и $T \approx 80 \text{ K}$. Вакуум в рабочей камере спектрометра был не хуже, чем $6 \cdot 10^{-9} \text{ Тор}$.

Исследуемый образец изготовлялся по стандартной технологии из Y_2O_3 , BaCO_3 и CuO и имел $T_c = 95 \text{ K}$. Использовался механический способ очистки его поверхности – скрайбирование, осуществлявшееся *in situ*. После помещения образца в вакуум до очистки, как показал оже-анализ, поверхность исследуемого образца содержала большое количество углерода. Избавиться от него полностью, несмотря на удаление с поверхности слоя толщиной 0.1 мм, не удалось (результатирующее соотношение оже-пиков I_0/I_c составляет ~ 10), что свидетельствует о наличии объемной примеси С в образце, наличие которой, по-видимому, связано с присутствием углерода в одном из исходных компонентов (BaCO_3) при изготовлении керамики.

На рис. 1,а представлены угловые распределения УОЭ при трех энергиях E электронов и нормальном падении пучка на поверхность образца. На приведенных распределениях при 0.25 и 0.5 кэВ видны отчетливые особенности в области углов вылета $\theta = 50-60^\circ$. Подобная структура в угловых распределениях УОЭ связывается со спецификой дифференциальных сечений упругого рассеяния электронов на изолированных атомах [3, 4]. Эти представления были использованы и для объяснения полученных нами результатов.

Прежде чем перейти к их рассмотрению отметим, что для корректного сопоставления экспериментальных и расчетных данных необходимо учесть приборную функцию спектрометра, связанную с изменением угла рассеяния регистрируемых электронов, определить которую с требуемой точностью весьма сложно. Этот фактор можно исключить, если использовать эталонный образец углерода, у атомов которого сечение упругого рассеяния электронов в интересующей нас области энергий E слабо меняется с углом и не имеет аномалий [5]. Соответствующие зависимости для такого образца при разных E были получены нами одновременно с данными для керамики. В качестве их иллюстрации на рис. 1,б приведена такая зависимость для $E = 0.25 \text{ кэВ}$. Здесь же воспроизведена кривая углового распределения УОЭ для исследованного образца при данной энергии и показана эта же зависимость, нормированная на данные для С (пунктирная кривая). Как видно, исключение приборной функции заметно усиливает обсуждаемый эффект.

Моделирование упругого отражения электронов проведено в приближении однократного рассеяния путем суммирования вкладов от разных слоев вещества. Вклад же отдельного слоя определялся суммой дифференциальных сечений упругого рассеяния электронов на атомах, составляющих данный слой [5-7]. Поглощение электронов в веществе описывалось экспоненциальной функцией с длиной свободного пробега λ для неупругого рассеяния, в частности равной 7.5 Å для $E = 0.25 \text{ кэВ}$ [8]. При учете неупругого преломления вылетающих электронов на границе с вакуумом внутренний потенциал полагался равным 12 эВ, считая, что ширина валентной

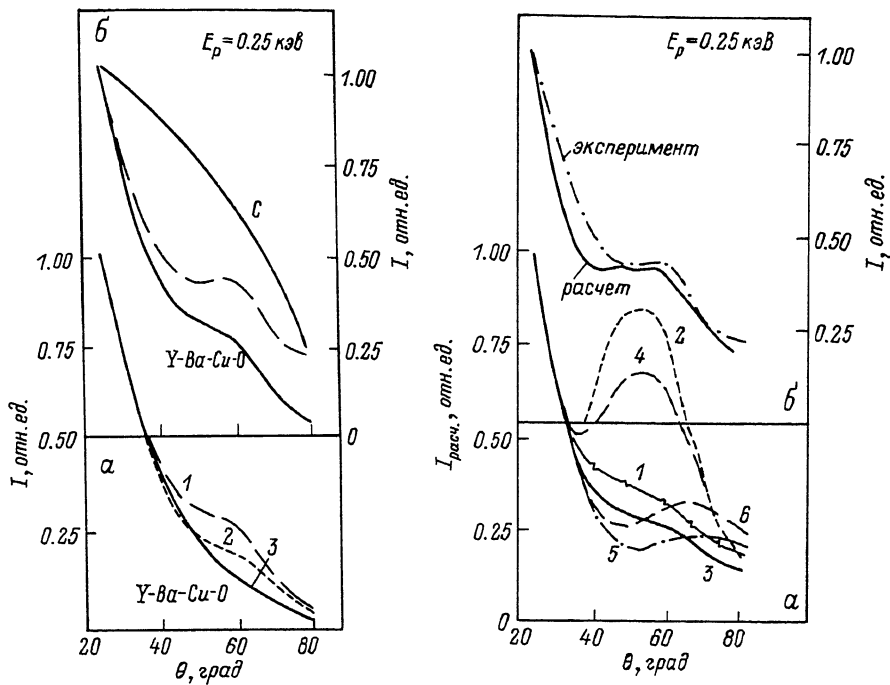


Рис. 1. Угловые распределения УОЭ от $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ а) E : 1 - 0.25 кэВ; 2 - 0.5 кэВ; 3 - 1.5 кэВ. б) E : 0.25 кэВ.

Рис. 2. Угловые распределения УОЭ с энергией 0.25 кэВ. а) Модельный расчет: верхний слой атомов: 1 - CuO_2 , 2 - BaO , 3 - CuO , 4 - BaO , 5 - CuO_2 , 6 - Y . б) Расчет модели поверхности состоящей из островков BaO и CuO_2 (со статистическими весами 1 : 1).

зоны материала составляет 7 эВ [9], работа выхода близка к 5 эВ. Для сопоставления расчетных кривых с экспериментальными полученные интенсивности упругого рассеяния электронов на различные углы также нормировались на соответствующие сечения для атомов С [5].

Возможный элементный состав приповерхностных слоев образца в пределах зоны выхода УОЭ выбирался в соответствии со строением элементарной ячейки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ и опирался на данные, полученные нами с помощью ЭОС. Анализ угловых распределений оже-электронов элементов ВТСП-керамики и углерода показал, что наблюдающийся после скрайбирования образца углерод преимущественно локализован не на его поверхности, а в более глубоких слоях.

Так как эта объемная примесь S видимо сосредоточена на границах зерен, из указанных данных оже-анализа следует, что при скрайбировании „оголяются“ области внутри зерен. Далее, если учесть, что исследованный материал является слоистым, то в результате механического воздействия с наибольшей вероятностью в этом случае должны разрываться связи между слоями, которые в Y -керамике ориентированы перпендикулярно оси \vec{c} кристалла. Данное допущение подтверждается и очень малыми интенсивностями наблюдавшегося нами оже-пика Y . Если обратиться теперь к элементарной ячейке $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, то легко видеть, что слоям, перпендикулярным оси \vec{c} , соответствуют шесть атомных плоскостей. Таким образом, на поверхности разрушенного зерна может оказаться любой из этих шести слоев.

Результаты модельных расчетов, выполненные для шести возможных вариантов строения приповерхностного слоя кристалла, показаны на рис. 2,а. Видно, что форма угловых распределений УОЭ очень чувствительна к элементному составу самого верхнего слоя атомов, а также „реагирует“ и на порядок следования более глубоких слоев. Последнее непосредственно следует из различия в данных, полученных для случая, когда на поверхность выходят одинаковые слои (CuO_2 и BaO), а порядок расположения последующих слоев разный (см., например, кривые 2 и 4 рис. 2,а). Обращает на себя внимание то, что сильно выраженный максимум в диапазоне углов вылета $\theta = 50-60^\circ$ появляется только тогда, когда верхний слой атомов содержит атомы Ba , которые характеризуются в этой области углов рассеяния большим возрастанием дифференциальных сечений упругого рассеяния электронов, что и приводит к появлению данного максимума. Естественно предположить, что природа и более слабо выраженного на экспериментальных кривых максимума (рис. 1) также обусловлена присутствием атомов Ba в верхнем слое образца и при скрайбировании образца зерна керамики разрываются преимущественно между нейтральными слоями BaO и менее связанными с ними смежными слоями CuO_2 . Присутствие на поверхности образца наряду с островками BaO и участков, содержащих атомы Cu , по-видимому, и объясняют меньшую интенсивность максимумов на экспериментальных угловых распределениях УОЭ по сравнению с расчетными. Это подтверждается данными моделирования, выполненного для поверхности, содержащей как участки BaO , так и CuO_2 , которые также показаны на рис. 2,б вместе с экспериментальной зависимостью. Отметим, что для $E = 0.5$ кэВ количественное согласие несколько хуже. Хотя развитый подход наиболее точно отражает ситуацию с монокристаллическими образцами, обнаруженное в целом хорошее соответствие между данными опыта и расчета, выполненного без подгоночных параметров, позволяет говорить о применимости его выводов и в случае исследования керамических мишеней.

В заключение отметим, что в соответствии с большинством опубликованных в литературе результатов, полученных методами

электронной спектроскопии, угловые распределения УОЭ, измеренные для $T < T_c$, не обнаруживают сколько-нибудь заметных отличий от снятых при комнатной температуре.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Пронин И.И., Гомоюнова М.В., Бернацкий Д.П., Заславский С.Л. // ПТЭ. 1982. № 1. С. 175.
- [2] Бернацкий Д.П., Заславский С.Л., Пронин И.И., Гомоюнова М.В. // ПТЭ. 1982. № 1. С. 178.
- [3] Бронштейн И.М., Васильев А.А., Пронин В.П., Хинич И.И. // Изв. АН СССР, сер. физ. 1985. Т. 49. С. 1755.
- [4] Канченко В.А., Крынько Ю.Н., Мельник П.В., Находкин Н.Г. // ФТТ. 1983. Т. 25. С. 1448.
- [5] F i n k M., Y a t e s A.C. // Atomic Data. 1970. V. 1. P. 385.
- [6] F i n k M., I n g r a m J. // Atomic Data. 1972. V. 4. P. 129.
- [7] G r e g o r y D. F i n k M. // Atomic Data tables. 1974. V. 14. P. 39.
- [8] S e a c h M.P., D e n c h M.A. // Surf. and Interf. Anal. 1979. V. 1. N 1, 2.
- [9] Y a r m o f f J.A., C l a r k e D.R. D r u o e W., K a r l a s s o n U.O., T a - l e b - I b r a h i m i A., H i m p s e l F.J. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 7. P. 3967.

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

Поступило в Редакцию
4 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 23

12 декабря 1989 г.

04; 09

О ВОЗМОЖНОСТИ ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА
ВО ВСТРЕЧНЫХ ПОТОКАХ ПЛАЗМЫ В РАДИОЯМАХ

А.И. Д з е р г а ч

Высокочастотные потенциальные ямы (радиоямы), т.е. области электромагнитного поля, способные локализовать заряженные частицы [1], могут, как показали эксперименты, ограничивать холод-