

05.4; 11; 12

© 1992

ВЛИЯНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПЕРЕХОДА
НА ВРЕМЯ-ПРОЛЕТНЫЕ СПЕКТРЫ ЛАЗЕРНОЙ
ДЕСОРБЦИИ КИСЛОРОДА С МОНОКРИСТАЛЛОВ
 $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$

П.О. Артамонов, А.А. Лисаченко

Анализ распределений продуктов лазерной десорбции по кинетическим энергиям (время-пролетных спектров - ВПС) позволяет получить данные о составе и количестве десорбированных частиц, параметрах потенциальной кривой возбужденных состояний, особенностях процесса переноса и релаксации энергии возбуждения [1, 2].

Ранее [3] исследовали продукты десорбции с $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (123), иницируемой излучением импульсного лазера на $\lambda=1064$ нм. При комнатной температуре зарегистрирована десорбция „медленных“ молекул с $T'=420-560$ К. Охлаждение же образца до $T=77-80$ К (которая была ниже температуры перехода в сверхпроводящее состояние $T_c=92$ К) приводило к тому, что T' скачком повышалась от 500 до 3000-4000 К. Последующий разогрев образца до комнатной температуры восстанавливал исходный вид ВПС. Для остальных исследованных оксидов, не обладающих ВТСП-характеристиками, температура T' „медленной“ формы O_2 „следит“ за температурой образца [4]. В [3] предложено, что эффект „разогрева“ „медленного“ кислорода, десорбируемого лазерным излучением на $\lambda=1064$ нм с охлаждаемой поверхности 123 кристалла связан со сверхпроводящим переходом.

Для дальнейшего исследования влияния ВТСП-перехода на характеристики лазерной десорбции O_2 в настоящей работе исследовали десорбцию с поверхности ВТСП-монокристалла $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ (2212).

Экспериментальная установка. Работу проводили на время-пролетном масс-спектрометре, описанном ранее [4]. Установка укомплектована автоматизированной цифровой системой регистрации на базе ЭВМ типа ДВК-3 и информационно-измерительной системы КАМАК.

Исследуемый образец помещали внутри камеры времяпролетного масс-спектрометра на расстоянии $L=78$ мм от ионного источника. Образец был окружен охлаждаемой жидким азотом цилиндрической ловушкой с отверстием для ввода света и вылета регистрируемых частиц. Опыты проводили при $p \sim 2 \cdot 10^{-10}$ Тор. Десорбцию иницировали импульсами лазера ЛТИПЧ-5 ($\tau=15$ нс, $\lambda=1064$ нм). ВП-спектр, т. е. зависимость концентрации десорбируемых частиц от времени $N(t)$ с данным массовым числом в плоскости ионного

источника масс-спектрометра позволяет реконструировать их распределение по скоростям [2]. Форму экспериментальных ВП-спектров моделировали максвелловскими распределениями с учетом аппаратной функции [2]. В качестве параметра использовали эффективную температуру соответствующего модельного распределения ($T_{\text{max}w}$).

Каждый ВП-спектр содержал 30–60 экспериментальных точек, следующих через 10 мкс. Чувствительность масс-спектрометра позволяла регистрировать десорбцию за одну вспышку 10^{-6} монослоя с гладкой поверхности размером 2 мм².

В использованном диапазоне плотности мощности (P/S) лазерного излучения не происходило распыления материала, что контролировали по отсутствию эмиссии атомов Cu и Sr .

Результаты эксперимента. Как при комнатной температуре образца ($T_{\text{комн}}$), так и при температуре жидкого азота ($T_{\text{ж.а.}}$) при возбуждении на $\lambda = 1064$ и 532 нм наблюдали десорбцию H_2O и CO_2 .

Форма ВП-спектров H_2O и CO_2 близка к максвелловской (рис. 1, кривые 1, 2). Изменение параметров возбуждающего излучения (λ , P/S) и/или температуры образца не оказывало существенного влияния на вид ВП-спектра. Интенсивность пиков после 10–20 импульсов становилась ниже порога чувствительности прибора. Такую поверхность считали очищенной от адсорбированных загрязнений. Дальнейшую десорбцию этих молекул можно было наблюдать лишь после дополнительной их адсорбции.

Десорбцию O_2 наблюдали как при $T_{\text{комн}}$, так и при $T_{\text{ж.а.}}$. Характерный вид ВП спектров для $\lambda = 532$ нм приведен на рис. 1, кривая 3. Моделирование показало, что исходное распределение состоит из нескольких максвелловских, а изменения суммарного ВП спектра обусловлены их перераспределением. При охлаждении до $T_{\text{ж.а.}}$ экспериментальное распределение несколько уширяется, что можно связать либо с увеличением вклада „медленных“ составляющих ВП спектра, либо с уменьшением параметра T' . Эффекта резкого „разогрева“ медленной формы не наблюдалось, что согласуется с данными [4].

При возбуждении на $\lambda = 1064$ нм в ВП-спектрах O_2 можно выделить две ярко выраженные составляющие распределения: „быструю“ с $T'' = 3000\text{--}4000$ К и „медленную“ с $T' = 350\text{--}360$ К. В интервале $2 \text{ МВт/см}^2 < P/S < 40 \text{ МВт/см}^2$ десорбцию O_2 наблюдали как в „быстрой“, так и в „медленной“ форме в обоих температурных интервалах. В случае $T_{\text{комн}}$ при предельно малых P/S преобладает „медленная“ форма (рис. 2, кривая 1). С увеличением P/S проявляется и „быстрая“ (рис. 2, кривая 2), интенсивность которой растет существенно быстрее, чем „медленной“ (рис. 2, кривая 3).

С охлаждением образца до $T = 80$ К относительный вклад „быстрых“ молекул O_2 при минимальных P/S резко возрастает (рис. 2,

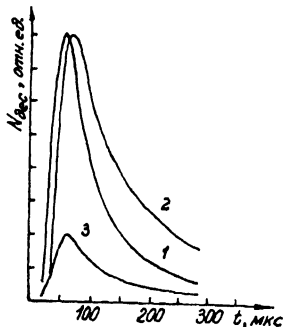


Рис. 1. Характерный вид ВП-спектров с поверхности $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$
 1 - H_2O , 2 - CO_2 , 3 - O_2 ($\lambda = 532 \text{ нм}$).

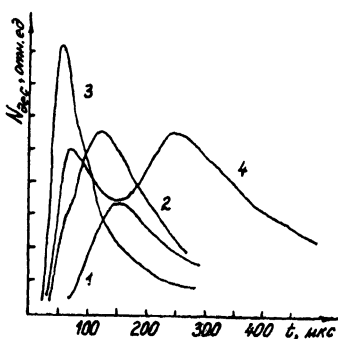


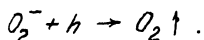
Рис. 2. Изменения формы ВП-спектров ($\lambda = 1064 \text{ нм}$) при увеличении P/S для $T_{\text{комн}}$ (1 - 5.7 МВт/см^2 , 2 - 11.7 МВт/см^2 , 3 - 13.6 МВт/см^2) и при охлаждении до $T_{\text{ж.а.}}$ (4).

кривая 4). В то же время T' „медленной“ формы уменьшается с 360 до 85 К.

Таким образом, как и на других исследованных оксидах [4-5] на монокристаллах 2212 при лазерной десорбции возможен вылет „быстрых“ и „медленных“ молекул кислорода. На всех исследованных оксидах, включая ВТСП 123 и 2212, кинетическая энергия „медленных“ молекул коррелирует с температурой образца T_0 . Отличие ВТСП оксидов 123 и 2212 от всех остальных заключается в следующем. При снижении температуры 123 и 2212 до $T_0 < T_c$ появляется (123) или резко усиливается (2212) десорбция „быстрых“ молекул, чего не наблюдается на прочих (не ВТСП) оксидах [3-5].

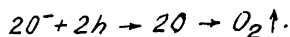
Для объяснения обнаруженного эффекта можно использовать представления, предложенные ранее [3]. Десорбция „медленных“ моле-

кул является результатом разрядки фотогенерированной дыркой h молекулярного кислорода, адсорбированного в форме O_2^- :



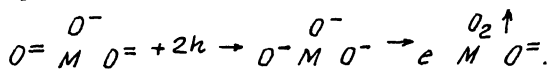
Десорбция идет из слабо связанного состояния, в котором молекула находится в течении времени, достаточного для установления теплового равновесия с поверхностью.

„Быстрые“ молекулы вылетают в результате ассоциативной десорбции разряжаемых ион-радикалов O^- [3]. Важно отметить, что для десорбции „медленной“ молекулы необходима одна дырка, а для „быстрой“ — две:



Таким образом, относительно концентрации дырок десорбции „медленных“ молекул — эффект первого порядка, а „быстрых“ — второго. Ранее отмечалось [3–5], что зависимость интенсивности десорбции от плотности мощности выражается степенной функцией $I = (P/S)^n$, причем показатель n для „медленных“ молекул приблизительно в два раза выше, чем для „быстрых“.

Механизм десорбции „быстрых“ частиц с ВТСП-оксидов можно представить схемой:



В этой схеме десорбция молекулы происходит при ассоциации поверхностного и структурного анион-радикалов. Высокая скорость десорбируемых молекул обусловлена тем, что при образовании O_2 молекула оказывается на отталкивательной кривой на расстоянии от поверхности, которое существенно меньше равновесного расстояния для O_2 и O_2^- . Увеличение же вклада „быстрой“ формы при уменьшении температуры до $T_0 < T_c$ обусловлено резким ростом эффективности переноса спаренных дырок из-за образования куперовских пар.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] C h u a n g T.J. // Surf. Sci. 1986. V. 178. P. 763.
- [2] М о и с е е н к о И.Ф., Г л е б о в с к и й А.А., Л и с а ч е н к о А.А. // Поверхность. 1990. В. 7. С. 116.
- [3] М о и с е е н к о И.Ф., Л и с а ч е н к о А.А., М о ш к и н С.В., К у з ь м и н а М.А. // Поверхность. 1990. В. 12. С. 17.
- [4] А р т а м о н о в П.О., М о и с е е н к о И.Ф., Л и с а ч е н к о А.А. // Поверхность. 1990. В. 3. С. 57.

[5] M o i s e e n k o I.F., L i s a c h e n k o A.A.//
MRS Proceedings. 1990. V. 191. P. 1.

Научно-исследовательский
институт физики
Санкт-Петербургского
государственного университета

Поступило в Редакцию
30 сентября 1992 г.