

УДК 546.881.3'881.4'65'442+87'41'42'562

С.А. Недилько, И.Л. Багинский, Т.А. Зеленко

ПРОБЛЕМЫ КИСЛОРОДНОЙ НЕСТЕХИОМЕТРИИ
В СОЕДИНЕНИЯХ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

Золь–гель и керамическим методами синтезированы поликристаллические образцы $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($\text{Ln} = \text{La}, \text{Sm}$ и Eu) и $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$. Исследованы структурные параметры и кислородная стехиометрия полученных соединений. Показано нелинейное изменение значения температуры перехода в сверхпроводящее состояние T_c в зависимости от величины кислородного индекса для образцов состава Bi-2212. Для твердых растворов $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ и $\text{La}_{1+x}\text{Ba}_{2x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ выявлен немонотонный характер зависимости средней валентности меди от степени замещения x . Установлено, что замещение атома бария на атом лантаноида в $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ приводит к повышению термической стабильности кислородной решетки.

С момента открытия явления высокотемпературной сверхпроводимости прошло уже более 17 лет. Менее чем за 11 лет температуру перехода в критическое состояние повысили до 164 К (под давлением в 30 ГПа), в то время как за 75 лет после открытия сверхпроводимости (1911—1986 гг.) ее удалось повысить менее чем на 20 К (с 4.2 до 23.2 К).

С каждым годом расширяется применение ВТСП материалов. Наибольшее применение пока что находят ВТСП пленки. Однако все чаще стали использовать и массивные образцы на основе ВТСП материалов.

Одной из проблем, решение которой будет способствовать внедрению ВТСП материалов, является выяснение влияния кислородной нестехиометрии на свойства ВТСП материалов различного состава и нахождение методов поддержания ее на оптимальном уровне.

Образцы состава Ln_{123} ($\text{Ln} = \text{La}, \text{Sm}, \text{Eu}$) были синтезированы золь–гель методом, а состава Bi2212 — твердофазным методом с предварительным получением прекурсора.

Рентгенографические исследования образцов проводили на дифрактометре ДРОН-3 (излучение $\text{CuK}\alpha$ с Ni-фильтром). Резистивные измерения осуществляли в интервале температур 77—300 К стандартным четырехзондовым методом. Содержание кислорода определяли методом иодометрического титрования.

Известно, что ВТСП соединения типа $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (123) имеют перовскитоподобную решетку, дефектную по кислороду [1]. 123 структура может существовать в виде орторомбичес-

кой ($Pmmm$) или тетрагональной ($P4/mmm$) фаз. При низких температурах и высоком содержании кислорода устойчива орторомбическая модификация. Потеря кислорода приводит к переходу орторомбической фазы $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ в тетрагональную.

Содержание, а также степень упорядочения атомов кислорода в орторомбической фазе зависят от условий термообработки и во многом определяют сверхпроводящие свойства 123-соединений (рис. 1).

Иттрий в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ может быть замещен на другие редкоземельные элементы. При этом основные структурные свойства сохраняются. Однако параметры кристаллической решетки, значения критической температуры и индексов кислорода структурного перехода, кислородная нестехиометрия и некоторые другие свойства

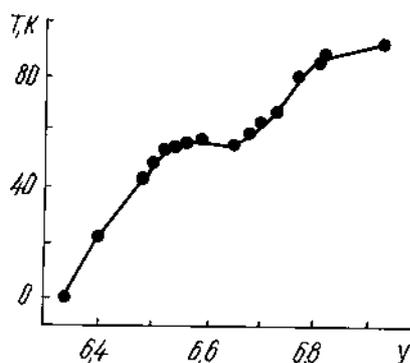


Рис. 1. Зависимость температуры перехода в сверхпроводящее состояние (T_c) от содержания кислорода (y) для $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (Y123).

© С.А. Недилько, И.Л. Багинский, Т.А. Зеленко, 2005

для изоструктурных $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (Ln123) с различными РЗЭ неодинаковы. Так, для $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ температура перехода орторомбической фазы в тетрагональную составляет $\sim 700^\circ\text{C}$, для $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ $\sim 600^\circ\text{C}$ и $\sim 800^\circ\text{C}$ для $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ [1].

Возможность легко изменять кислородную стехиометрию в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ и ее лантаноидных аналогах позволяет варьировать в широких пределах электрофизические свойства и структуру этих материалов. Однако до сих пор не установлен механизм влияния кислородной стехиометрии и этих структурных особенностей на сверхпроводимость в ВТСП-материалах. Поэтому это явление требует дальнейшего изучения.

Соединения типа Ln123 способны переходить в сверхпроводящее состояние только после насыщения кислородом, которое проводится в кислородной атмосфере при температурах $350\text{--}450^\circ\text{C}$. Для этого используют два типа режимов кислородной обработки: политермический — постепенное снижение температуры и изотермический — прогревание при постоянной температуре $350\text{--}450^\circ\text{C}$.

Способ насыщения кислородом, температура и продолжительность обработки также могут влиять на конечные электрофизические свойства ВТСП-соединений типа 123 и твердых растворов $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$. При увеличении времени обработки растет содержание кислорода (y). Считается, что оптимальное значение температуры перехода в сверхпроводящее состояние в системе $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ отвечает образцам с $y \approx 7$. Такие соединения можно получить только обработкой $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ при высоком давлении кислорода или в монокристаллических образцах $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ после продолжительной обработки в кислородной атмосфере [2]. В то же время авторы работы [3] отмечают, что при $y > 6.88$ рост индекса кислорода уже не приводит к существенному увеличению критической температуры образцов $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$. При очень продолжительной обработке в атмосфере чистого кислорода (свыше 500 ч) наблюдается незначительное повышение T_c в твердых растворах $\text{Nd}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x = 0.1, 0.2$) [4]. Но это является следствием спиноидального распада твердых растворов с образованием соединений с малыми значениями x (которые имеют более высокие значения T_c) и не связано с кислородной нестехиометрией.

В то же время наряду со снижением критической температуры пониженный индекс кислорода способствует некоторому повышению кри-

тической плотности тока и возникновению пик-эффекта в соединениях $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ вследствие образования кластеров кислородных вакансий, которые могут выступать центрами пиннинга, как и области катионного разупорядочения.

Гетеровалентное замещение в твердых растворах $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ является удобным способом влияния на кислородную стехиометрию и структурные параметры в ВТСП-соединениях и потому может быть полезным методом изучения связи сверхпроводящих свойств, структурных характеристик и химического состава. Гетеровалентное Ln/Ba-замещение приводит к появлению в слоях (BaO) дополнительного положительного заряда, не связанного с изменением кислородной стехиометрии и структуры соединений [1]. Это дает альтернативную возможность контролировать концентрацию дырочных носителей тока в (BaO)- и (CuO_2)-слоях, а также находить корреляции между T_c и этими концентрациями, что, безусловно, является важным для развития знаний про механизмы высокотемпературной сверхпроводимости.

Замещение двухвалентного атома бария на трехвалентный атом редкоземельного элемента РЗЭ (La, Nd, Sm, Eu, Gd) приводит к появлению в структуре дополнительного количества кислорода для сохранения зарядового баланса в $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6.5+x/2+\delta}$. На рис. 2, 3 показаны полученные нами зависимости общего содержания кислорода (y), содержания активного кислорода (δ) и средней валентности меди (СВМ) от степени замещения x и температуры для $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$. В результате замещения повышается общее содержание кислорода, которое превышает 7 при увеличении x (рис. 2, а). Структурные переходы в твердых растворах типа $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6.5+x/2+\delta}$ сопровождаются изменениями структуры, симметрии кислородной субрешетки, кислородной стехиометрии и СВМ (рис. 2, б).

Считалось, что в образцах $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6.5+x/2+\delta}$ содержание активного кислорода и средняя валентность меди (СВМ) практически постоянны для всего ряда твердых растворов [1, 2], то есть степень окисления меди практически не зависит от x при одинаковых условиях термообработки образцов. Наши исследования (рис. 2, б) показали немонотонность зависимости СВМ в области значений, соответствующих структурным переходам в некоторых твердых растворах $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$. Это подтверждается также авторами работ [5, 6] для со-

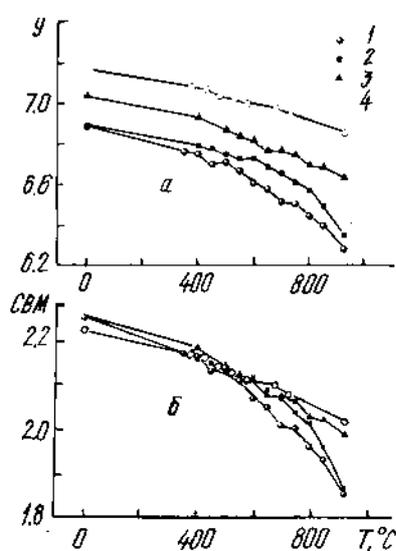
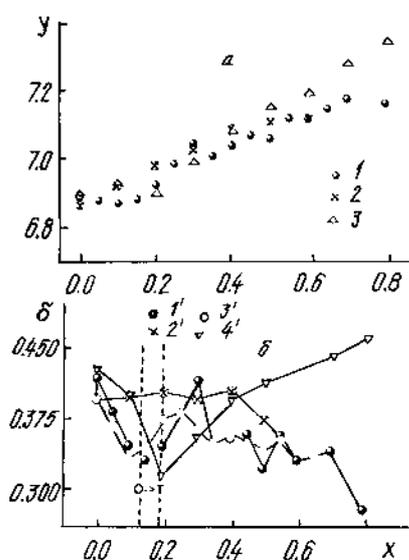


Рис. 2. Зависимости общего содержания кислорода (а) и содержания активного кислорода (б) от степени замещения x для твердых растворов $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($\text{Ln}=\text{La}, \text{Sm}$ и Eu): 1 — $\text{Sm}_{123\text{ss}}$; 2 — $\text{Eu}_{123\text{ss}}$; 3 — $\text{La}_{123\text{ss}}$ (окисленные) (а); 1' — $\text{Sm}_{123\text{ss}}^*$; 2' — $\text{Eu}_{123\text{ss}}$; 3' — $\text{Sm}_{123\text{ss}}^{**}$; 4' — $\text{La}_{123\text{ss}}$ (б).

Рис. 3. Зависимости общего содержания кислорода (а) и средней степени окисления меди (CBM) (б) от температуры для твердых растворов $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$: 1 — $x=0$; 2 — $x=0.1$; 3 — $x=0.3$; 4 — $x=0.65$.

единений $\text{Nd}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ и $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$. Минимумы на кривых зависимостей содержания активного кислорода от степени замещения x для твердых растворов $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ и $\text{La}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ соответствуют переходу орторомбической фазы в тетрагональную. В случае же соединений $\text{Eu}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ содержание активного кислорода практически не зависит от степени замещения x (рис. 2, б).

Влияние катионного состава (степени замещения x) становится более ощутимым при повышенных температурах. На рис. 3, а, б видно, что образцы с малыми значениями x теряют кислород при нагревании значительно быстрее. Это свидетельствует об увеличении стабильности кислородной решетки при возрастании присутствия лантаноида в позиции бария. В образцах, закаленных от 950°C , CBM практически равняется двум при $x \geq 0.3$ и снижается до 1.8 при $x=0$, что свидетельствует о частичном восстановлении меди до $\text{Cu}(\text{I})$ в образцах с малыми значениями x .

Сверхпроводящие соединения в системе $\text{Bi}-\text{Sr}-\text{Ca}-\text{Cu}-\text{O}$ являются членами гомологического ряда с общей формулой $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4}$ ($n=0, 1, \dots$). Структуру таких соединений можно описать последовательностью перовскитообразных блоков (CuO_2) (CaP)

(CuO_2) и блоков со структурой NaCl (SrO) (OBi) (BiO) (OSr).

Соединение $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ (Bi-2212) является фазой переменного состава, существующей в следующем концентрационном интервале (% мол.): 28.0—35.7 по $\text{BiO}_{1.5}$; 27.0—32.0 по CuO ; 16.5—35.5 по SrO ; 8.5—17.5 по CaO , т.е. имеет место катионное разупорядочение. Подобное поведение висмутовых сверхпроводящих материалов существенно отличает их от соединений типа Ln_{123} , для которых масштаб катионной нестехиометрии значительно меньше. В связи с этим проблему кислородной нестехиометрии Bi -содержащих ВТСП материалов необходимо рассматривать в двух аспектах: структурная реализация кислородной нестехиометрии в упорядоченной фазе Bi-2212 ; влияние изменения катионного состава (в пределах области гомогенности) на содержание кислорода.

По мнению большинства исследователей, избыточные атомы кислорода размещены в удвоенных слоях (BiO)₂. На это указывает незначительное изменение объема кристаллической решетки $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ при вхождении кислорода $\Delta V=0.047 \cdot 10^{-3} \text{ нм}^3$ на атом кислорода (в случае $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ соответствующее изменение составляет $0.294 \cdot 10^{-3} \text{ нм}^3$).

Формулу висмут-кислородного слоя можно

записать как $(\text{Bi}_2\text{O}_{4-x})$, где $0 \leq x \leq 2$. Степень окисления висмута изменяется от +3 ($x=2$) до +5 ($x=0$). Кислородная нестехиометрия $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ ограничена значениями $0 \leq \delta \leq 0.4$, при этом высокоокисленное состояние $x=0$ (или $\delta=2$) является достаточно устойчивым и не реализуется в условиях эксперимента.

Отличительной особенностью Bi-содержащих ВТСП является наличие непропорциональных модуляций структуры. Применение электронной микроскопии высокой разрешающей способности показало отсутствие полной упорядоченности в чередовании блоков для структуры $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ вдоль направления a , при этом усредненный сверхструктурный параметр приблизительно соответствует $5a$. Атомы висмута и кислорода в $(\text{BiO})_2$ -плоскостях смещены от идеальных позиций структуры NaCl, вследствие чего обнаруживается сильная деформация октаэдрического окружения и расстояние висмут—висмут периодически изменяется. Анионные позиции в структурах, содержащих два слоя (BiO) , полностью заселены (в расчете на Cu^{2+}), поэтому причины образования дырок в зоне проводимости должны быть несколько иными. В данном случае возможно образование катионных вакансий в шарах (RO) или частичное гетеровалентное замещение $\text{R}^{3+} \rightarrow \text{M}^{2+}$. Внедрение сверхстехиометрического атома кислорода в плоскость (CaP) маловероятно из-за возникающих аномально коротких расстояний Cu—O. С учетом этих модуляций внедрение избыточного кислорода возможно только в определенные позиции, в результате чего возникает новый тип удвоенного слоя, содержащий один дополнительный атом кислорода на 10 атомов висмута, что соответствует формуле $(\text{BiO}_{1.1})_2$. Анализ некоторых работ [7—9] показывает, что модель, базирующаяся на внедрении избыточного кислорода в слои $(\text{BiO})_2$, наиболее точно отвечает экспериментальным данным.

Вопрос взаимосвязи кислородной нестехиометрии и сверхпроводящих свойств Bi-содержащих ВТСП является достаточно важной темой. К сожалению, данные различных авторов существенно отличаются [7, 10, 11]. В результате измерений было установлено, что зависимость $T_c = f(y)$ имеет максимум, отвечающий значению 8.19 (рис. 4), т.е. до значения $y=8.25$ T_c остается приблизительно одинаковой ($T_c^{\text{on}} = 102\text{—}97\text{ K}$, $T_c^{\text{R=0}} = 83\text{—}70\text{ K}$), а потом с увеличением y начинает уменьшаться ($T_c^{\text{on}} = 97\text{—}76\text{ K}$, $T_c^{\text{R=0}} = 55\text{—}8\text{ K}$). При этом происходит значительное уве-

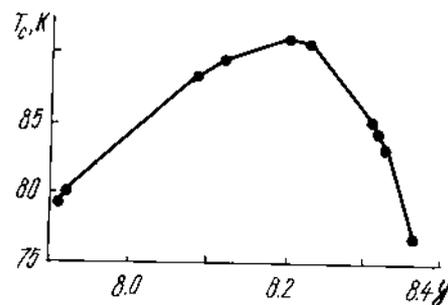


Рис. 4. Зависимость температуры перехода в сверхпроводящее (T_c) состояние для Bi-2212 от общего содержания кислорода (y).

личение ширины сверхпроводящего перехода. Причинами такого ухудшения можно считать увеличение содержания висмута (V) и вхождение нейтрального кислорода в слои $(\text{BiO})_2$.

Несмотря на значительное количество работ, так и не выяснено влияние среды отжига и режима охлаждения на интенсивность процессов фазообразования и сверхпроводящие свойства получаемых материалов, а также не установлена связь между данными процессами и величиной кислородного индекса δ . По мнению некоторых исследователей [12, 13], наиболее оптимальными условиями получения образцов $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ является низкое парциальное давление, способствующее образованию фазы Bi-2212 и режим медленного охлаждения (оптимальный режим охлаждения 50—100 град/ч). В то же время проведенные измерения показали, что медленное охлаждение Bi-содержащих образцов приводит к снижению T_c .

Таким образом, в работе синтезированы образцы $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($\text{Ln} = \text{La}, \text{Sm}$ и Eu) и $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$. Исследована взаимосвязь между кислородной стехиометрией, структурой и электрофизическими свойствами полученных соединений. Установлена немонотонная зависимость критической температуры от содержания кислорода в Bi-2212. Показано, что увеличение степени замещения бария на лантаноид в $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ способствует повышению стабильности кислородной подрешетки к нагреванию.

РЕЗЮМЕ. Методом золь—гель та керамічним методом синтезовано полікристалічні зразки $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($\text{Ln} = \text{La}, \text{Sm}$ та Eu) і $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$. Досліджено структурні параметри і кисневу стехіометрію одержаних сполук. Показано нелінійну зміну значення температури надпровідного переходу T_c в залежності від величини кисневого індексу для зразків складу Bi-2212. Для твер-

дих розчинів $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ і $\text{La}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ показано немонотонний характер залежності середньої валентності міді від ступеня заміщення (x). Встановлено, що заміщення атома барію на атом лантаніду в $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ приводить до підвищення термічної стабільності кисневої ґратки.

SUMMARY. Polycrystalline samples of $\text{Ln}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($\text{Ln} = \text{La}, \text{S}, \text{Eu}$) and $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ have been synthesized both by sol-gel and ceramic methods. The structural parameters and oxygen stoichiometry of the obtained compounds were studied. Nonlinear change of superconducting transition temperature T_c with oxygen index was found for Bi-2212 samples. Non-monotone character of dependence of average cooper oxidation state on substitution degree index (x) was shown for the solid solutions $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ and $\text{La}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$. It was found that the substitution lanthanide for barium results in the increase of oxygen lattice thermal stability.

1. *Высокотемпературная сверхпроводимость* / Под ред. А.А. Киселева. -Л.: Машиностроение, 1990. -Вып. 1.
2. *Takita K., Akinaga H., Ohshima T.* // *Physica C.*

-1992. -**191**, № 3-4. -P. 509—514.

3. *Kawano M., Suematsu H., Onda T. et al.* // *Appl. superconductivity.* -1997. -**5**, № 1-6. -P. 119—125.
4. *Yoshizumi M., Nakamura Y., Izumi T. et al.* // *Physica C.* -2001. -**357-360**, -Pt 1. -P. 354—358.
5. *Goodilin E., Limonov M., Ponfilov A. et. al.* // *Ibid.* -1998. -**300**, № 3-4. -P. 250—269.
6. *Sano M., Hayakawa Y., Kumagawa M.* // *Supercond. Sci. technol.* -1996. -**9**, № 6. -P. 478—482.
7. *Черняев С.В., Кудра М.М., Можжев А.П.* // *Журн. неорган. химии.* -1993. -**38**, № 4. -С. 571—576.
8. *Бобылев И.Б., Морычева В.Н., Романов Е.П. и др.* // *Сверхпроводимость: физика, химия, техника.* -1993. -**6**, № 9. -С. 1863—1877.
9. *Бобылев И.Б., Зюзева Н.Л., Дерягина Л.Н.* // *Неорган. материалы.* -2000. -**36**, № 11. -С. 1362—1368.
10. *Оськина Т.Е., Третьяков Ю.Д., Бадун Ю.В.* // *Сверхпроводимость: физика, химия, техника.* -1990. -**3**, № 10. -С. 117—125.
11. *Idemoto I., Fueki K.* // *Physica C.* -1990. -**168**, № 1-2. -P. 167—172.
12. *Hwang N.M., Bahng G.W., Moon H.G.* // *Appl. Phys. Lett.* -1989. -**54**, № 16. -P. 1588—1591.
13. *Kikuchi A. et al.* // *Jpn. J. Appl. Phys.* -1989. -**28**, № 3. -P. L371—373.

Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко

Поступила 27.10.2003

УДК 541.135.2+546.311+541.123

И.Н. Скрипту

ПОВЕДЕНИЕ ОКСИДА КАДМИЯ В ЩЕЛОЧНО-СОЛЕВЫХ РАСПЛАВАХ

Представлены результаты изучения системы $\text{CdO}-\text{MeOH}$ ($\text{Me} = \text{Li}, \text{Na}, \text{K}$) методом изотермического насыщения в температурном интервале 673—873 К. Показано, что в данных смесях при растворении оксида кадмия образуются суспензии. Установлено влияние температуры и природы растворителя на поведение CdO в расплавах гидроксидов щелочных металлов.

Ионные расплавы широко используются в металлургии. Одна из сфер применения щелочных расплавов — рафинирование тяжелых цветных металлов (олова, свинца, индия и др.) [1]. Поэтому значительный интерес представляют сведения о реакциях металлов и их соединений, в частности оксидов, с расплавленными электролитами. Работ, посвященных изучению данного вопроса, недостаточно для теоретического объяснения процессов, которые протекают в ваннах рафинирования [2—4].

Цель данной работы — изучить поведение оксида кадмия CdO в щелочных и щелочно-солевых расплавах. Для решения поставленной за-

дачи были проведены эксперименты с использованием методов изотермического насыщения, дериватографии, рентгенофазового анализа.

В экспериментах использовали гидроксиды щелочных металлов квалификации ч.д.а., предварительно обезвоженные при 550—600 °С в течение 3—4 ч. Концентрацию оксида кадмия в расплаве определяли по содержанию в нем кадмия методами фотоколориметрии и атомно-абсорбционной спектрофотометрии [5]. Изотермическое насыщение проводили в расплавах индивидуальных щелочей, эвтектике $\text{NaOH}-\text{KOH}$, а также смеси гидроксида натрия с хлоридами щелочных металлов в темпе-

© И.Н. Скрипту, 2005