

- [8] Корольков В.И. В сб.: Фотоприемники и фотопреобразователи. Л.: Наука. 1986. С. 6-36.
- [9] Baglee D.A., Ferry D.K., C.W. Wilmsen, H.H. Wieder. J. Vac. Sci. Techn. 1980. N 17. С. 1032-1036.
- [10] Михайлова М.П., Рогачев А.А., Ясников И.Н. ФТП. 1976. Т. 10. Вып. 10. С. 866-875.
- [11] Жингарев М.З., Корольков В.И., Михайлова М.П., Ясников И.Н. Письма в ЖТФ. 1979. Т. 4. Вып. 5. С. 355-360.
- [12] Михайлова М.П., Слободчиков С.В., Смирнова Н.Н., Филаретова Г.М. ФТП. 1976. Т. 10. Вып. 5. С. 978-980.

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

Поступило в Редакцию
24 августа 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 4

26 февраля 1990 г.

05.4

© 1990

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ АЛЮМИНИЯ И ИНДИЯ НА СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$

Е.М. Гололобов, Н.А. Прыткова,
Ж.М. Томило, Д.М. Турцевич,
М.С. Целуевский, Н.М. Шиманская

С открытием высокотемпературной сверхпроводимости, наряду с фундаментальными исследованиями этого явления возникли задачи чисто прикладного характера, в частности, возможности использования сверхпроводящих металлооксидных материалов в микроэлектронике. При изучении этой проблемы в связи с задачей стабильности параметров ВТСП большое внимание уделяется взаимодействию сверхпроводящих металлооксидов с материалами, широко используемыми в микроэлектронике, например, материалами подложек (MgO , ZrO_2 , Al_2O_3 , Si , $SrTiO_3$ и др.), и при изготовлении электроконтактов, поскольку термообработка контактирующих материалов приводит к взаимной диффузии атомов различных элементов, что отражается на свойствах изделий [1-6].

Нами проведено исследование влияния примесных добавок окиси алюминия, часто используемого в качестве подложек в тонкопленочных устройствах, и окиси индия (индий и его сплавы применяются для изготовления электрических контактов в криоустройствах) в металлооксид $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ ("2212") на его сверхпроводящие свойства. Был проведен синтез и исследованы свойства об-

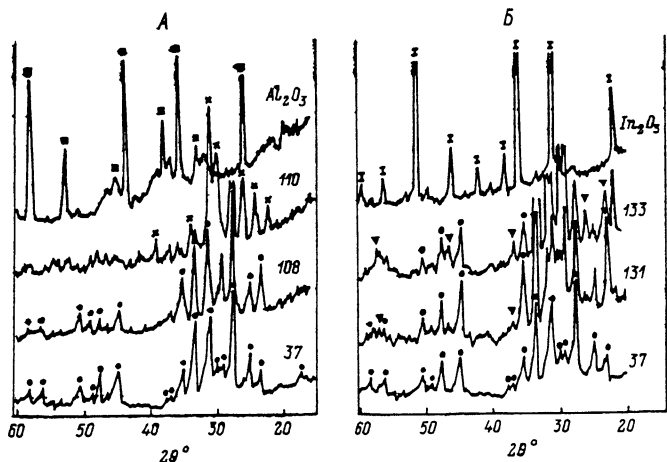


Рис. 1. Дифрактограммы образцов: А – системы $Bi_2Sr_2Al_xCaCu_2O_y$ с $x=0$ (91 – ●), $x=1.0$ (108), $x=3.0$ (110), Al_2O_3 (■), x – неизвестная фаза; Б – система $Bi_2Sr_2In_xCaCu_2O_y$ с $x=0$ (92 – ●), $x=0.5$ (131), $x=2.0$ (133), In_2O_3 (I), ▼ – неизвестная фаза.

разцов составов: $Bi_2Sr_2Al_xCaCu_2O_y$ и $Bi_2Sr_2In_xCaCu_2O_y$ с $0 \leq x \leq 5.0$. Синтез образцов проводился методом твердофазной реакции при температурах 800–870 °С на воздухе из смеси мелкодисперсных порошков окислов Bi_2O_3 , Al_2O_3 , In_2O_3 , CuO и карбонатов $SrCO_3$, $CaCO_3$.

Рентгенофазовый анализ синтезированных образцов проводился в $CuK\alpha$ – излучении на дифрактометре ДРОН-3. Дифрактограммы показали, что при введении в шихту состава $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ алюминия в количестве $x \leq 2.0$ (≤ 12 ат.%) основной фазой является "2212". На дифрактограммах образцов с $x \geq 1.0$ появляются отражения, не относящиеся ни к Al_2O_3 , ни к фазе "2212". Интенсивность этих отражений возрастает с увеличением содержания алюминия, тогда как количество сверхпроводящей фазы "2212" уменьшается. При добавлении индия в $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$, начиная с $x=0.1$, на дифрактограммах, в отличие от добавления алюминия в тех же количествах, появляются линии отражения, относящиеся к In_2O_3 . Также можно отметить появление новых фаз при малых добавках индия. Рентгенофазовый анализ показал, что количество In_2O_3 и новой фазы растет с увеличением содержания индия в образцах. Наблюдение за изменением параметров кристаллической решетки $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ в результате введения примесных добавок свидетельствует о том, что алюминий и индий в небольших количествах (~ 3 ат. %) входят в решетку "2212".

Наряду с рентгеноструктурным фазовым анализом был проведен микролокальный рентгеноспектральный анализ, показавший, что ато-

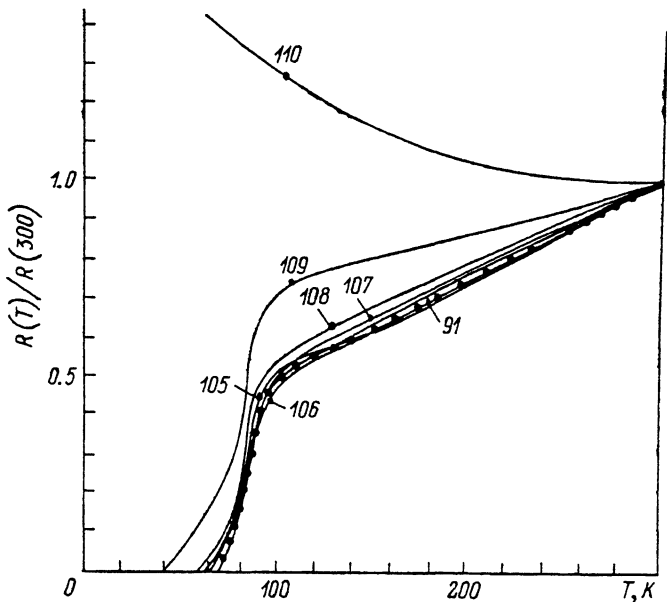


Рис. 2. Зависимость $R(T)/R(300\text{ K})$ для образцов $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Al}_x\text{CaCu}_2\text{O}_y$: $x=0$ (91), $x=0.1$ (105), $x=0.3$ (106), $x=0.5$ (107), $x=1.0$ (108) $x=2.0$ (109) и $x=3.0$ (110).

мы вводимых примесей располагаются не только на границах зерен, но и входят в ограниченном количестве в решетку соединения $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$, причем степень растворимости алюминия больше, чем индия.

На рис. 1, а, б представлены дифрактограммы образцов $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Al}_x\text{CaCu}_2\text{O}_y$ и $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{In}_x\text{CaCu}_2\text{O}_y$ с достаточно большим содержанием добавок, но обладающих сверхпроводящими свойствами (образцы 108 и 131 с $x=1.0$ и $x=0.5$ соответственно), и образцов, не обладающих сверхпроводимостью (образцы 110 и 133 с $x=3.0$ и $x=2.0$ соответственно). Под номерами 91 и 92 приведены дифрактограммы образцов $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ без примесей.

Из измерений температурной зависимости электросопротивления $R(T)$ в интервале температур 4.2–300 К образцов состава $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Al}_x\text{CaCu}_2\text{O}_y$ (рис. 2) следует, что температура начала сверхпроводящего перехода T_K^H не изменяется существенно при добавлении алюминия в количестве $0 \leq x \leq 2.0$. Температура окончания сверхпроводящего перехода T_K^O при этом уменьшается с $\sim 70\text{ K}$ ($x=0$) до $\sim 40\text{ K}$ ($x=2.0$). Наблюдается уменьшение dR/dT с возрастанием содержания алюминия до $x=2.0$. Дальнейшее увеличение содержания алюминия в образцах $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ приводит к исчезновению сверхпроводимости и к неметаллическому характеру $R(T)$.

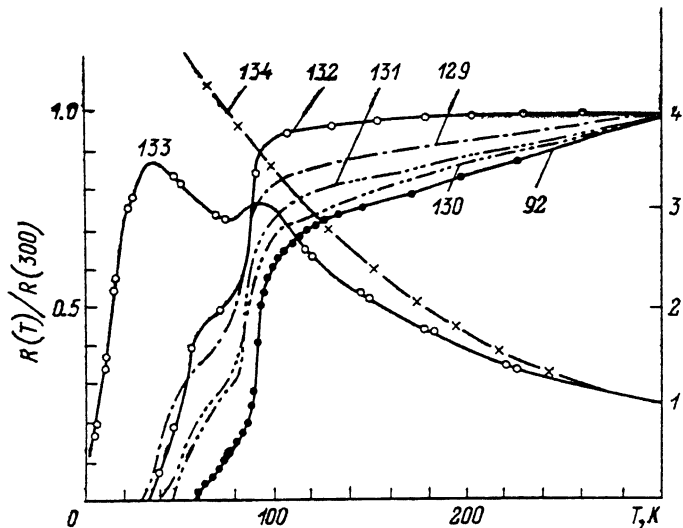


Рис. 3. Зависимость $R(T)/R(300\text{ K})$ для образцов $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{In}_x\text{CaCu}_2\text{O}_y$: $x=0$ (92), $x=0.1$ (129), $x=0.3$ (130), $x=0.5$ (131), $x=1.0$ (132), $x=2.0$ (133) и $x=3.0$ (134).

Аналогичные изменения происходят и в случае добавки индия в $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ с тем различием, что T_K^0 уменьшается более резко с возрастанием содержания индия до $x=1.0$ (рис. 3). Образцы, содержащие In в количестве $x=2.0$, имеют сложную зависимость $R(T)$ с $T_K^H \sim 30\text{ K}$. При $T=4.2\text{ K}$ они не переходят в сверхпроводящее состояние. С последующим увеличением содержания индия в образцах $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ наблюдается полупроводниковая, а затем и диэлектрическая зависимости $R(T)$.

Заметим, что в дополнение к результатам, приводимым в [7], мы провели исследование влияния на сверхпроводимость $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ примесных добавок магния в больших количествах ($2.0 \leq x \leq 10.0$), чем это было сделано ранее. Оказалось, что добавление Mg даже в таких больших количествах сильно не изменяет T_K^H . T_K^0 уменьшается до 52 K при $x=10.0$. Исследование профилей отражений, фазового состава, параметров решетки $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Mg}_x\text{CaCu}_2\text{O}_y$ в зависимости от количества вводимого магния показало, что магний растворяется примерно до $x=0.5$ [7], дальнейшее увеличение Mg приводит к накоплению его в межзеренном пространстве, что подтверждает микролокальный рентгеноспектральный анализ.

Результаты проведенных исследований показали, что сверхпроводящие свойства висмутитового металлооксида $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ более стабильны в случае введения примесных добавок магния. Добавление же индия вызывает наибольшую деградацию сверхпроводящих свойств его.

- [1] Chu C.W., B e c h t o l d J., G a o L. et al. // Phys. Rev. Lett. 1988. V. 60. P. 941.
- [2] Александров К.С., Васильев А.Д., Звоничев С.А. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. С. 478.
- [3] Jin S., S h e r w o o d R.C., T i e f e l T.H. et al // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. P. 1628.
- [4] M o r o i s h i K., O g a w a Y., I k u s h i m a A. // Jap. J. Appl. Phys. Part 2, 1988. v. 27. P. L2330.
- [5] Антонова Е.А., Рузинов В.А., Старк С.Ю. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. Вып. 10. С. 908.
- [6] S u z u k i T., Y a m a z a k i T., K o u k i t s u A. et al. // J. Mat. Sci. Lett. 1989. V. 8. P. 19.
- [7] Гололобов Е.М., Прыткова Н.А., Томило Ж.М. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. С. 384.

Институт физики твердого тела
и полупроводников АН БССР,
Минск

Поступило в Редакцию
10 мая 1989 г.
В окончательной редакции
6 декабря 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 4

26 февраля 1990 г.

01; 05.4

© 1990

РАСЧЕТ ТОКОВОЙ СТРУКТУРЫ ПРОДВИЖЕНИЯ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

А.Н. Артемов, А.М. Гришин,
В.В. Пермяков

1. Существует ряд предложений по созданию устройств памяти на вихрях Абрикосова [1-4]. В этих устройствах запись информации производится по принципу наличия или отсутствия вихря в данной битпозиции, а продвижение вихрей осуществляется действием тока в сверхпроводящей пленке, содержащей вихрь, или в токовых аппликациях. Экспериментально уже созданы и исследованы простейшие тестовые структуры, моделирующие отдельные ячейки памяти на магнитных вихрях (МВ) [3, 5, 6].

В настоящей работе выполнен расчет силы, действующей на одиночный вихрь в сверхпроводящей пленке, в простейшей токовой струк-