

ЭПИТАКСИАЛЬНЫЙ РОСТ ПЛЕНОК $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ НА ПОДЛОЖКАХ MgO 05.1; 05.4; 11

А.И. Головашкин, В.П. Мартовичкий,
Е.В. Печень, В.В. Родин

Монокристаллические пленки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ с осью „с“, перпендикулярной плоскости срастания с подложкой, обладают максимальными стабильностью и криттоками, т.к. слои $Cu-O$ (которые ответственны за сверхпроводящие свойства и по которым происходит деградация структуры [1]) параллельны плоскости роста и имеют минимальный контакт с внешней поверхностью. Такие пленки были получены на подложках (001) $SrTiO_3$ [2]. Это объясняется близостью параметров решеток $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ($a \approx 3.82 \text{ \AA}$; $b \approx 3.89 \text{ \AA}$, $c/3 \approx 3.90 \text{ \AA}$) с размером перовскитового куба титаната стронция ($a = 3.905 \text{ \AA}$). Однако из-за большого значения диэлектрической проницаемости $SrTiO_3$ ($\epsilon \approx 310$ [3]) пленки на нем плохо подходят для работы в высокочастотных приборах. Поэтому желательно получение монокристаллических пленок на других подложках. В настоящее время известны успешные опыты выращивания $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ на MgO , ZrO_2 , Al_2O_3 , $1/2BaCuO_5$ [4-7]. Из этих материалов окись магния имеет близкий к керамике коэффициент термического расширения, относительно малое значение диэлектрической проницаемости ($\epsilon = 9.8$ [3]) и совершенную спайность по {100}, позволяющей готовить ростовую поверхность без процессов химической обработки непосредственно перед напылением.

Пленки были получены на подложках MgO , нагретых примерно до 800 °С, методами импульсного лазерного [2] и магнетронного на постоянном токе распылений.

Структурные исследования проводились на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2.0 на $CuK\alpha$ - излучении с изогнутым графитовым монохроматором и дополнительной щелью, установленной непосредственно перед образцом. Такая схема позволяет получать высокие интенсивности отражений от локальных участков структуры.

Дифрактограммы пленок, выращенных обоими методами, состоят только из серии рефлексов (00 l) сверхпроводящей фазы $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Наличие отражений высоких порядков до (0.0.13) и разделение $K\alpha_1 - K\alpha_2$ дублета свидетельствуют о структурном совершенстве пленок. Следовательно, кристаллиты пленки растут с осью „с“, ориентированной перпендикулярно плоскости срастания. Значение параметра решетки „с“ определялось по рефлексам (0.0.11) и (0.0.13) с использованием отражения (004) MgO как репера. Для метода лазерного распыления пленки имеют параметр $c = 11.679 \text{ \AA}$, а для магнетронного $c = 11.708 \text{ \AA}$.

Для оценки структурного совершенства пленок необходимо также измерять величину разориентации осей „с“ в отдельных кристаллитах (радиальная текстура) и степень параллельности осей „а“ и „в“

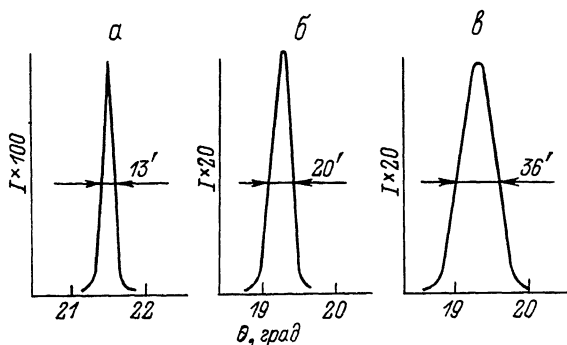


Рис. 1. Кривые качания рефлексов (002) подложки MgO (а) и (005) пленок, полученных лазерным (б) и магнетронным (в) напылениями.

в плоскости срастания (аксиальная текстура). Величины радиальной текстуры определяются по кривым качания симметричных рефлексов (005) пленки в сравнении с угловой шириной отражения (002) подложки (рис. 1).

Подложка состоит из блоков, разориентированных в пределах нескольких угловых минут. Полуширина кривой качания пленки, полученной лазерным распылением, составляет 18 угловых минут, что в полтора раза превышает полуширину кривой качания подложки. Для пленок, полученных магнетронным распылением, полуширина составляет 36 угловых минут, что вдвое больше значения, чем у пленок, напыленных с помощью лазера.

Для исследования ориентационных соотношений в плоскости срастания применяются асимметричные отражения. Нами установлено, что наиболее оптимальными для этой цели являются рефлексы (2.0.11)-(0.2.11). Они имеют достаточно большую составляющую в плоскости срастания и близки по межплоскостному расстоянию и величине угла наклона к плоскости роста рефлекса (024) подложки MgO , служащего репером. В обычных схемах измерений с горизонтальной плоскостью дифракции рентгеновских лучей заметная интенсивность отражения наблюдается только от плоскостей, расположенных вблизи вертикального положения. При вертикальном расположении поверхности роста и вращении кристалла вокруг нормали к ней асимметрично расположенные плоскости будут занимать различные положения, в том числе и вертикальные. Частота появления дифракционного пика от данной системы плоскостей при вращении от нуля до 360° вокруг нормали будет определяться симметрией ростовой поверхности. Поверхность скола (001) MgO имеет симметрию $4mm$, поэтому система плоскостей {024} появляется в отражающем положении четыре раза через каждые 90 градусов (рис. 2, а). За начало отсчета принято вертикальное положение скола (010).

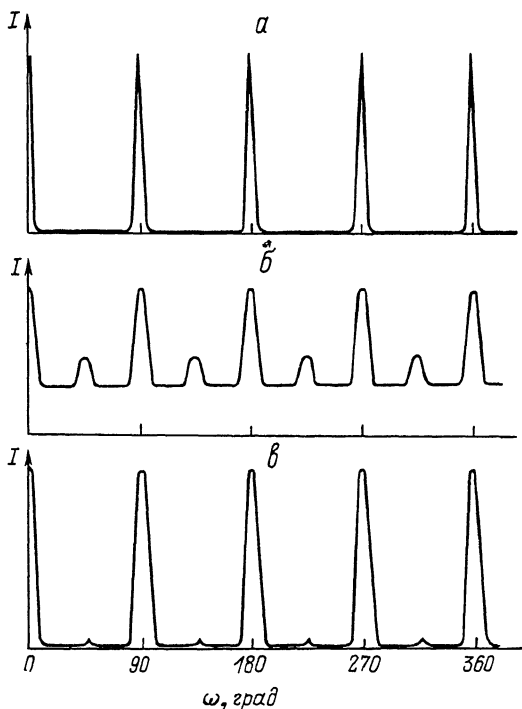


Рис. 2. Интенсивности отражений асимметричных рефлексов 024 подложки (а) и $\{2.0.11\} - \{0.2.11\}$ пленок, полученных лазерным (б) и магнетронным (в) напылениями.

Для монокристаллических пленок ромбической симметрии, которую имеет структура $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ при вращении вокруг оси $[001]$ и с учетом наличия двойников перестановки (ось „с“ общая, а оси „а“ и „в“ меняются местами [8]) отражения от плоскостей $\{0.2.11\}$ также будут появляться через 90 градусов. При случайных ориентациях зерен в плоскости срастания для любых угловых положений должна наблюдаться заметная интенсивность отражения.

Для пленок, полученных лазерным распылением (рис. 2, б), наблюдается некоторая интенсивность отражения при всех угловых положениях и две системы максимумов. Это значит, что часть зерен имеет хаотическое расположение осей „а“ и „в“ в плоскости роста, тогда как другая часть находится в эпитаксиальном срастании с подложкой. Для главной системы максимумов с пиками на $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ и т.д. ориентация оси $[100] YBa_2Cu_3O_{7-x}$ параллельна оси $[100] MgO$. Менее выраженная система максимумов на $45^\circ, 135^\circ$ и т.д. свидетельствует, что у части зерен ось $[100] YBa_2Cu_3O_{7-x}$ параллельна $[110] MgO$ (45-градусная ориентация с осью $[100]$).

Для пленок, полученных магнетронным напылением (рис. 2, в), 99% интенсивности приходится на параллельную ориентацию осей $[100]$ пленки и подложки и лишь 1% - на 45-градусную при полном отсутствии зерен в случайном срастании. Следовательно, наблюдается практически полностью эпитаксиальный рост пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ на MgO .

При лазерном распылении размер строительных единиц крупнее, чем при магнетронном, и сил взаимодействия пленки с подложкой недостаточно для полностью ориентированного роста. Но принципиальные ориентационные соотношения для обоих методов одинаковы. Вполне вероятно, что возможность компенсации напряжений за счет вращения кристаллитов в плоскости срастания приводит к меньшей величине радиальной текстуры в пленках, полученных лазерным распылением.

Таким образом, в работе показана принципиальная возможность двух различных эпитаксиальных соотношений пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ на подложках MgO . В пленках, полученных магнетронным напылением, достигнута практически полная параллельность осей $\langle 100 \rangle$ пленки и подложки в плоскости срастания.

Л и т е р а т у р а

- [1] Z a n d b e r g e n H.W. et al. // Phys. status solidi. 1988. V. A105. P. 207-218.
- [2] Г о л о в а ш к и н А.И. и др. // Письма в ЖЭТФ, 1988. Т. 47. С. 157-159.
- [3] Акустические кристаллы. Справочник, М: Наука, 1982.
- [4] Г о л о в а ш к и н А.И. и др. Пробл. высокотемп. сверхпроводимости, Свердловск, 1987, ч. 2, с. 216-217.
- [5] С h a r K. et al. // Revue Phys. Appl. 1988. V. 23. P. 257-264.
- [6] A d a c h i H. et al. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. P. 2263-2265.
- [7] P e r r i n A. et al. // Revue Phys. Appl. 1988. V. 23. P. 257-264.
- [8] О с и п њ я н Ю.А. и др. // Письма в ЖЭТФ, 1987. Т. 46. С. 189-192.

Физический институт
им. П.Н. Лебедева АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
2 декабря 1988 г.