

## ОРИЕНТАЦИОННЫЕ СООТНОШЕНИЯ ПЛЕНОК $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ С ПОДЛОЖКАМИ (110) $\text{SrTiO}_3$

В.П. Мартовицкий, В.В. Родин, Д.Н. Токарчук

*По специально разработанной рентгенодифрактометрической методике определены относительные количества кристаллитов ориентаций (110) и (103), выращенных методом ВЧ магнетронного напыления на подложках (110)  $\text{SrTiO}_3$ .*

Применение пленок высокотемпературных сверхпроводников в различных приборах требует их высокого совершенства. С точки зрения близости параметров решеток наилучшим материалом в качестве подложек является титанат стронция. На нем были получены эпитаксиальные пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  различных ориентаций /1 – 3/. Анизотропный характер структуры и важная роль слоев Cu-O в высокотемпературной сверхпроводимости приводят к тому, что величины критических токов и магнитных полей находятся в прямой зависимости от ориентации пленки и ее дефектности. Например, в пленках, выращенных магнетронным напылением на подложки (110)  $\text{SrTiO}_3$ , величины критических токов параллельно и перпендикулярно базисной плоскости различались на два порядка /2/. В поперечном сечении тех же пленок методом электронной микроскопии высокого разрешения установлено наличие нескольких эпитаксиальных соотношений, которые можно интерпретировать как двойники со взаимно перпендикулярными осями C: /4/. В настоящей работе неразрушающим методом получена оценка количества кристаллитов в каждом из эпитаксиальных соотношений пленок  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  на подложках (110)  $\text{SrTiO}_3$  для прогнозирования степени анизотропии физических свойств этих пленок.

Разделение двойников проводилось на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2,0 по специально разработанной методике /5/. Исследовались пленки, полученные методом ВЧ магнетронного распыления на холодные подложки (110)  $\text{SrTiO}_3$ . Для уменьшения нежелательной диффузии примесей из подложки получаемые после напыления аморфные пленки подвергались в течение нескольких минут отжигу в атмосфере кислорода при  $850^\circ\text{C}$ . Дифрактограммы пленок состояли из отражений высокой интенсивности от плоскостей (110) и (103) со следами других рефлексов. Ширины кривых качания на половине высоты дифракционных пиков  $0,7 - 0,8^\circ$ , что свидетельствовало об ориентированной кристаллизации пленок в процессе отжига.

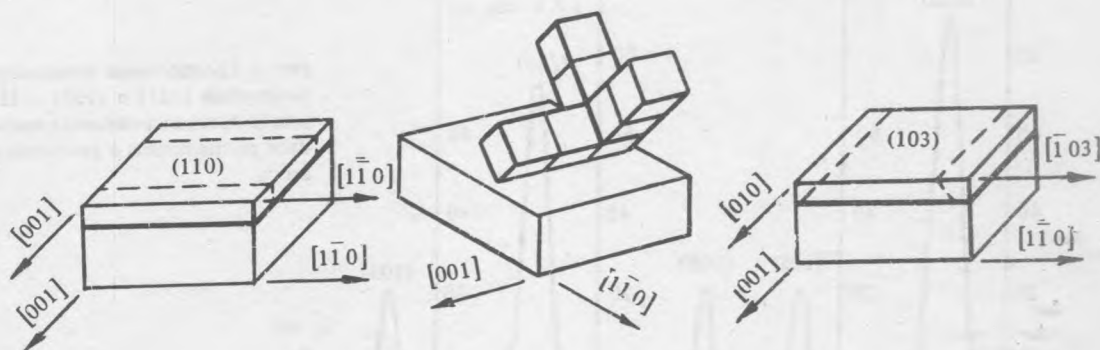


Рис. 1. Ориентационные соотношения двух эпитаксиальных срастаний пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  с подложкой (110)  $\text{SrTiO}_3$ . В центре показано расположение элементарной ячейки в виде трех перовскитовых кубов с осью C в плоскости срастания (ориентация (110)) и примерно под углом  $45^\circ$  к ней (ориентация (103)).

На рис. 1 приведены ориентации осей и расположение элементарных ячеек для двух плоскостей роста (110) и (103) пленки на подложке (110)  $\text{SrTiO}_3$ . Элементарная ячейка фазы (123) состоит из трех перовскитовых кубов вдоль оси С; и для ориентации (110) пленки ось С лежит в плоскости срастания с подложкой, тогда как для (103) она расположена приблизительно под углом  $45^\circ$  к ней. Поскольку межплоскостные расстояния (110) и (103) рефлексов для сверхпроводящей фазы практически равны ( $b \approx c/3$ ), то для их разделения применяются асимметричные рефлексы. Установлено, что относительное количество кристаллитов пленки с ориентацией (110) параллельно плоскости подложки хорошо диагностируется на рефлексе (225) с реперным отражением (222) подложки. Для определения доли кристаллитов с ориентацией (103) удобным является рефлекс (105) с репером (120)  $\text{SrTiO}_3$ .

На рис. 2 приведены кривые качания рефлексов (225), (105) и  $(\bar{1}05)$  двух пленок, выращенных в слегка различных условиях. В обеих пленках отражение (225) по интенсивности примерно в двадцать раз превышает остальные. Это означает, что основная часть пленки состоит из кристаллитов, у которых ориентация (110) параллельна плоскости роста. В первой пленке наблюдается примерно равная интенсивность рефлексов (105) и  $(\bar{1}05)$ , тогда как во второй последний рефлекс имеет существенно меньшую интенсивность. Так как интенсивность отражения (105) зависит от числа кристаллитов, у которых ось С расположена примерно под  $45^\circ$  к плоскости срастания справа налево (рис. 1), а  $(\bar{1}05)$  — слева направо, то изменение соотношения их интенсивностей свидетельствует о преобладании зерен в одной ориентации, для которой ось С составляет меньший угол с ростовой поверхностью (при наличии разориентации между кристаллографической плоскостью (110) подложки с поверхностью роста).

В зависимости от режимов выращивания и отжига соотношение различных ориентаций в пленке может меняться. Для пленок  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , выращенных на подложках (100)  $\text{SrTiO}_3$ , установлено, что избыток Ва способствует росту кристаллитов с ориентацией (001), тогда как избыток Си приводит к преимущественной кристаллизации зерен (100) [7]. Так как в методе магнетронного напыления бомбардировка подложек высокоэнергетическими частицами приводит к появлению концентрических зон различного состава [6], вполне вероятно, что и на подложках (110)  $\text{SrTiO}_3$  соотношение ориентаций (110) и (103) меняется из-за отклонения состава пленок от стехиометрического.

На рис. 1 в пленках пунктирными линиями показаны следы двух слоев Cu-O, ответственных за сверхпроводящие свойства. Они расположены взаимно перпендикулярно для ориентаций (110) и (103). Степень анизотропии физических свойств определяется соотношением числа кристаллитов в этих двух ориентациях и, следовательно, зависит от условий получения пленок.

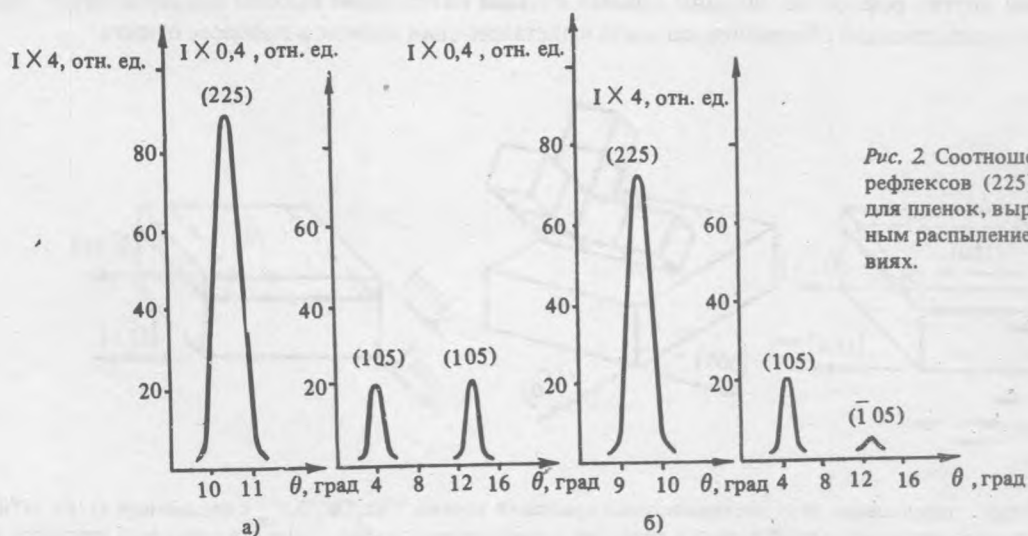


Рис. 2 Соотношение интенсивностей рефлексов (225) и (105) —  $(\bar{1}05)$  для пленок, выращенных магнетронным распылением в различных условиях.

Таким образом, в работе оценены относительные количества кристаллитов в ориентациях (110) и (103), эпитаксиально нарастающих на подложках (110)  $\text{SrTiO}_3$  и определяющих степень анизотропии физических свойств, а также показана возможность изменения их соотношения в зависимости от условий получения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Головашкин А. И. и др. Письма в ЖЭТФ, **47**, 157 (1988).
2. Enomoto Y. et al. Jap. J. Appl. Phys., **26**, L1248 (1988).
3. Kwo J. et al. Phys. Rev., **B36**, 4039 (1987).
4. Tomita M. et al. Jap. J. Appl. Phys., **27**, L636 (1988).
5. Мартовичский В. П., Родин В. В. Тезисы VII Всесоюзной конференции по росту кристаллов. М., 1988, т. II, с. 414.
6. Terada N. et al. Jap. J. Appl. Phys., **27**, L639 (1988).
7. Kapitulnik A. Physica, **C153 - 155**, 520 (1988).

Поступила в редакцию 27 декабря 1988 г.