

МОНОКЛИНИЗАЦИЯ РШЕТКИ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ПРИ ЭПИТАКСИАЛЬНОМ РОСТЕ ПЛЕНОК НА (001) $SrTiO_3$

В. П. Мартовицкий, В. В. Родин

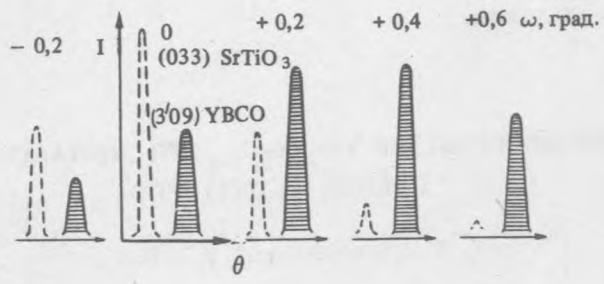
Установлены моноклинизация решетки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ и наличие преимущественно одной плоскости двойникового при росте пленок на разориентированных от (001) подложках $SrTiO_3$. Оси \vec{a} каждого двойникового домена остаются параллельными осям $\langle 100 \rangle$ подложки, а оси \vec{b} сдвигаются на $0,3^\circ$.

Пленки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ являются перспективным объектом с точки зрения как их практического применения в микроэлектронике, так и фундаментальных исследований. От монокристаллов и керамик их отличают более низкие температуры получения, наличие напряжений и деформаций решетки из-за различий параметров решеток и коэффициентов термического расширения с подложкой. Очевидно, что и процесс двойникового в пленках при переходе тетрагональной фазы в ромбическую может быть осложнен из-за взаимодействия с подложкой. Исследованию состояния решетки эпитаксиальных пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ на (001) $SrTiO_3$ посвящена настоящая работа.

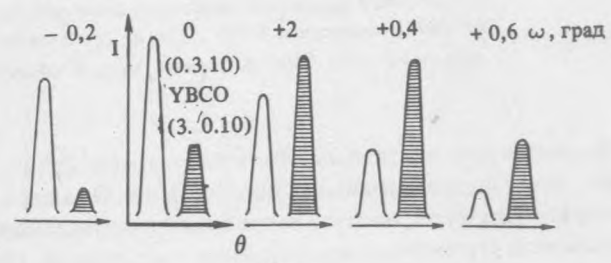
Пленки, выращенные методом магнетронного распыления на постоянном токе [1], изучались на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2,0 с графитовым монохроматором и гониометрической головкой для исследования текстурированных образцов. Щели были сужены по вертикали до 0,5 мм и выставлены на одном уровне. В такой геометрии достигалась чувствительность к разориентациям осей в плоскости срастания около $0,1^\circ$ и максимальная интенсивность асимметричных рефлексов наблюдалась при вертикальном расположении отражающих плоскостей. Установлено, что для исследования взаимной ориентации осей в двойниках перестановки (ось с общая, а оси а и b меняются местами) подходят пары близко расположенных, но хорошо разделяющихся рефлексов $(3'0.10) - (0.3.10)$, а ориентации по отношению к подложке — отражения $(3'0.9)$ пленки и (033) подложки. Отражение со штрихом относится к доменам с левой системой координат, а без штриха — с правой. Записи кривых качания $I(\theta)$ указанных рефлексов проводились при последовательных поворотах структуры вокруг нормали к плоскости срастания с шагом $0,2^\circ$.

Исследование пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ с ориентацией оси с перпендикулярно (001) $SrTiO_3$ показало, что на хорошо ориентированных срезах дифракционные картины усложнены из-за наличия всех четырех индивидов, образующихся при двойнировании по плоскостям (110) и $(1\bar{1}0)$ [2, 3]. На разориентированных подложках, например, в направлении $[110]$ или близком к нему, эпитаксиальные пленки состоят из доменов только двух типов. Они связаны плоскостью двойникового $(1\bar{1}0)$, в которой расположены нормали к ростовой поверхности и кристаллографической плоскости (001). Это было установлено по наличию всего двух дифракционных рефлексов вместо четырех и уширению асимметричных отражений $(hh'l)$ из-за малых размеров областей когерентного рассеяния по сравнению с $(hh'l)$. Ниже описан анализ взаимной ориентации осей в плоскости срастания доменов пленок, выращенных на разориентированных до 4° в направлении $[110]$ подложках.

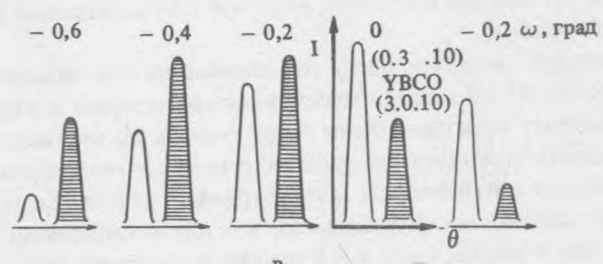
На рис. 1 приведены интенсивности кривых качания асимметричных рефлексов в зависимости от угла поворота структуры вокруг нормали к ростовой поверхности. Первые две серии кривых (рис. 1а, б) получены после предварительного поворота структуры на 45° по часовой стрелке от положения, при котором двойниковая плоскость $(1\bar{1}0)$ располагалась горизонтально. Последняя серия кривых (рис. 1в) получена после первоначального поворота кристаллодержателя на 45° против часовой стрелки. За нулевые значения приняты угловые положения, соответствующие горизонтальному расположению осей $[100]$ и $[010]$ подложки, а положительные значения углов относятся к повороту структуры по часовой стрелке. Положения максимумов и сравнимая острота пиков пленки и подложки позволяют сделать следующие выводы. Парал-



а



б



в

Рис. 1. Кривые качания асимметричных рефлексов при ступенчатых поворотах структуры на 0,2° по часовой стрелке вокруг нормали к ростовой поверхности. Рефлексы (3'0.9)–(033) (а); (3'0.10)–(0.3.10) (б); (3.0.10)–(0.3'10) (в). Нулевые значения углов соответствуют максимумам подложки.

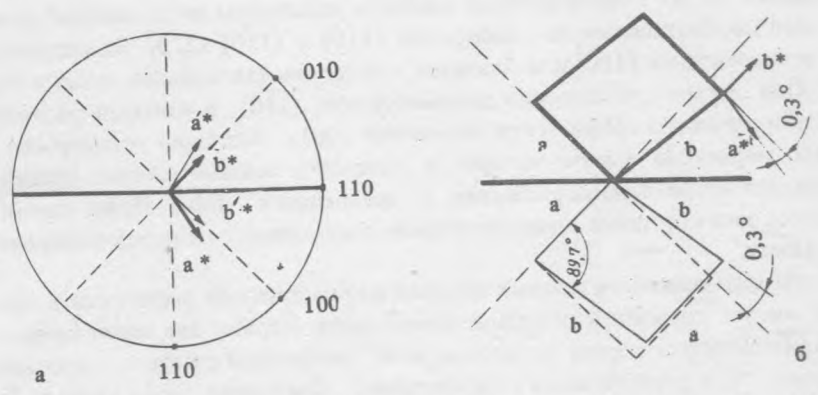


Рис. 2 а) Моноклинизация решетки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ в обратном пространстве на стереографической проекции (001). б) Реальные сдвиги осей в элементарных ячейках доменов, связанных плоскостью двойниковогоания.

лельность осей пленки и подложки в пределах долей градуса и узкие кривые качания свидетельствуют о довольно совершенном эпитаксиальном росте. Это обусловлено оптимальными ростовыми режимами и близостью параметров решеток $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ и SrTiO_3 в плоскости срастания. В пленках, выращенных в аналогичных условиях на MgO и ZrO_2 , оси кристаллитов разориентированы на несколько градусов по обе стороны от средних значений /4/.

Угловые положения, при которых наблюдаются максимальные интенсивности отражений (0.3.10) пленки и (033) подложки, совпадают в пределах точности измерений (рис. 2 а, б). Максимумам интенсивностей асимметричных рефлексов соответствует вертикальное расположение отражающих плоскостей. Учитывая, что структура вращается вокруг горизонтальной оси с, совпадение максимумов свидетельствует о параллельности осей **b** обратной решетки пленки и подложки. Аналогичная картина наблюдается и для оси **b** другого домена. Максимумы рефлексов (3'09) и (3'0.10) отклонены на $0,3^\circ$ от максимума подложки таким образом, что образуют с плоскостью двойникования углы, превышающие 45° . То есть, ось **a*** обратной решетки не параллельна направлению [010] подложки и образует тупой угол с осью **b*** относительно двойниковой плоскости (рис. 2 а). Поскольку между прямой и обратной решетками существует однозначное соотношение взаимности /5/, то отклонение оси **a*** соответствует сдвигу оси **b** в реальном пространстве (рис. 2 б).

Таким образом, при эпитаксиальном росте $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ на разориентированных подложках (001) SrTiO_3 решетка пленок становится моноклинной. Необходимому развороту доменов на угол $1 - a/b \approx 0,9^\circ$ при двойниковании /2/ препятствуют силы связей с подложкой. В результате ось **a** остается неподвижной, а ось **b** отклоняется от оси подложки на $0,3^\circ$ для частичной релаксации возникающих напряжений. Двойниковые границы при этом превращаются еще и в малоугловые границы наклона, чего не наблюдается в монокристаллах и керамических образцах /6/.

Авторы выражают благодарность Е. В. Печеню за предоставленные образцы для исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Печень Е. В. и др. Труды I Всесоюзного совещания по физико-химии и технологии ВТСП, М., Наука, 1989, с. 350.
2. Осипьян Ю. А. и др. Письма в ЖЭТФ, 46, 189 (1987).
3. Nodera J. L. et al. Solid State Commun., 64, 1349 (1987).
4. Мартовицкий В. П., Родин В. В., Филиппов Е. В. Препринт ФИАН № 138, М., 1989.
5. Вильсон А. Оптика рентгеновских лучей, М., ИЛ, 1951, с. 143.
6. Barry J. C. J. Electron. Micr. Techn., 8, 325 (1988).

Поступила в редакцию 10 октября 1989 г.