

ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ПЛЕНОК $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ С ПОДЛОЖКАМИ (001) ZrO_2

В.П. Мартовицкий, Е.В. Печень, А.А. Родин

Установлены два варианта роста пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ на (001) ZrO_2 : с параллельным и 45-градусным расположением осей [100] пленки и подложки в плоскости срастания. Разориентация подложки приводит к росту анизотропных пленок.

Для применения в микроэлектронике пленки высокотемпературных сверхпроводников должны обладать высокими значениями критических токов и устойчивостью к деградации, что наиболее легко достигается у псевдомонотросталлических пленок с осью с, перпендикулярной плоскости срастания. Такие пленки получены на подложках $SrTiO_3$, MgO и ZrO_2 , однако лишь на первых из них наблюдалась строгая параллельность осей пленки и подложки в плоскости срастания /1, 2/. Большая разница в параметрах решеток $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ($a \approx 3,82 \text{ \AA}$, $b \approx 3,89 \text{ \AA}$) и MgO ($a = 4,2117 \text{ \AA}$) приводит к тому, что в плоскости срастания возникают два эпитаксиальных варианта роста: с параллельным и 45-градусным расположением осей [100] пленки и подложки /3/. Поскольку значения критических токов существенно понижаются на границах зерен с разориентированными осями /4/, то особую актуальность приобретает изучение закономерностей срастания пленок ВТСП с другими подложками, имеющими большие различия в параметрах решеток.

В настоящей работе представлены результаты исследования эпитаксиальных соотношений пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ со стабилизированными иттрием подложками (001) ZrO_2 ($a \approx 5,14 \text{ \AA}$).

Пленки получали методом магнетронного распыления на постоянном токе в смеси аргона и кислорода при температурах подложек $650 - 750 \text{ }^\circ\text{C}$. Рентгеноструктурные исследования проводились на дифрактометре ДРОН-2,0, в геометрии Брэгга – Брентано с дополнительной узкой щелью, установленной непосредственно перед образцом /3/. Эпитаксиальные соотношения изучались путем записи кривых качания симметричных и асимметричных рефлексов пленки и подложки.

На рис. 1 представлены кривые качания асимметричных рефлексов (044) подложки (а) и (3.0.10) пленки (б) при вращении структуры на 360° вокруг нормали к плоскости срастания. Аналогичное распределение интенсивностей наблюдается и для отражения (0.3.10), подтверждая наличие в пленке двойников перестановки. За нулевое положение принято максимальное значение интенсивности (044) рефлекса ZrO_2 . При ориентации плоскости срастания (001) подложки в вертикальном положении это соответствует горизонтальному направлению оси [010].

Сравнение интенсивностей отражения пленки и подложки при различных угловых положениях позволяет сделать два вывода. Во-первых, имеются две системы максимумов на 0° , 90° , 180° , 270° , 360° и 45° , 135° , 225° , 315° , соответствующих параллельной и 45-градусной взаимной ориентации осей [100] пленки и подложки в плоскости срастания. Относительные количества кристаллитов в обеих ориентациях зависят от условий осаждения пленки, причем отмечено и существенное преобладание (вплоть до 98%) числа зерен с 45-градусным расположением осей. Этим пленка ZrO_2 отличается от MgO , где у большей части зерен наблюдалось параллельное расположение осей [100] пленки и подложки в плоскости срастания. Во-вторых, для каждого из ориентационных соотношений наблюдается чередование максимумов и минимумов интенсивностей через каждые 90 градусов, причем уменьшение интенсивности сочетается с уширением кривых качания.

Поскольку на полуширину кривых качания влияют разориентация и размер кристаллитов, а также локальные вариации параметров решеток, то для разделения этих факторов дополнительно записывались кривые качания симметричных отражений (0.0.6) и (0.0.11) при вращении структуры на 360° вокруг нор-

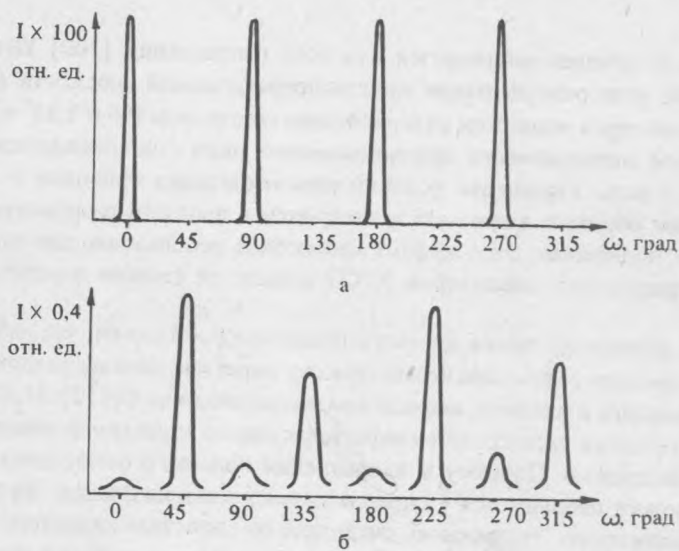


Рис. 1. Интенсивности отражения асимметричных рефлексов (044) подложки ZrO_2 и (3.0.10) пленки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ при вращении структуры вокруг нормали к плоскости срастания. Нулевое положение соответствует горизонтальной ориентации оси [010] подложки.

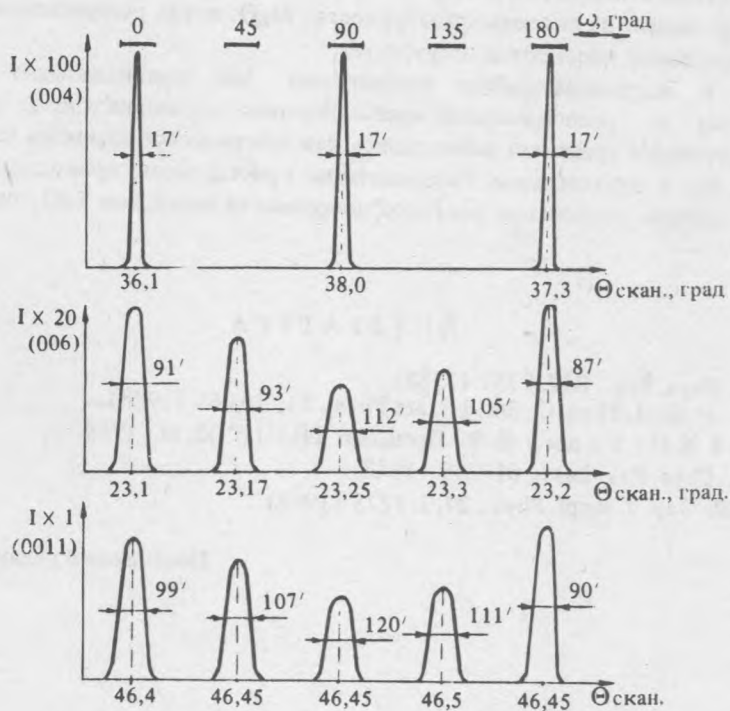


Рис. 2. Кривые качания симметричных рефлексов (004) ZrO_2 и (006), (0.0.11) $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Записи сделаны через каждые 45 градусов вращения вокруг нормали к плоскости роста. Два пика подложки опущены.

мали к плоскости срастания (рис. 2). За нулевую точку отсчета принято то же самое положение пленки, как и при записи асимметричных рефлексов. Полуширина кривых качания (0.0.11) лишь слегка больше соответствующих тем же угловым положениям полуширин рефлекса (006). Следовательно, основной вклад в уширение вносит разориентация кристаллитов. Для 45-градусной ориентации минимальное значе-

ние полуширины кривой качания наблюдается для того направления $[100]$ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ // $[110]$ ZrO_2 , которое имеет меньший угол разориентации кристаллографической плоскости (001) подложки с поверхностью роста. Для данной серии подложек разориентации составляли $0,6$ и $1,35^\circ$ вдоль направлений $[110]$ и $[\bar{1}\bar{1}0]$. Понижение вдвое интенсивности дифракционного пика сопровождается уширением его кривой качания примерно в 1,4 раза. Ухудшение условий кристаллизации приводит к еще большему размытию уширенного пика. Таким образом, возникает анизотропия в величине разориентации кристаллитов пленок на разориентированных подложках. Этот эффект может быть использован для создания приборов, основанных на зависимости критических параметров ВТСП пленок от степени параллельности составляющих их зерен.

Сравнение угловых положений пиков пленки и подложки показывает, что наблюдается систематический сдвиг пиков пленки к среднему значению независимо от знака и величины разориентации подложки. Аналогичная ситуация наблюдалась в пленках, выращенных на подложках $(01\bar{1}2)$ Al_2O_3 /3/. Это означает, что ось c в большинстве кристаллитов располагается перпендикулярно к ростовой поверхности, а не кристаллографической плоскости подложки. Поэтому в направлении большего отклонения ростовой поверхности от плоскости (001) подложки наблюдается уширение кривых качания пленок. Эффект усиливается при ухудшении условий кристаллизации. Это связано, очевидно, со слоистым характером структуры (123) – фазы высокотемпературных сверхпроводников. При больших несоответствиях в параметрах решеток пленки и подложки (малое взаимодействие между ними) сказывается тенденция слоистых структур разрастаться параллельно поверхности роста. По этой же причине получаются пленки, состоящие из зерен с ориентацией оси c преимущественно перпендикулярно поликристаллическим подложкам /5/. Такого эффекта не наблюдается при росте пленок на сколотых поверхностях MgO , когда разориентация между поверхностью роста и кристаллографической плоскостью отсутствует.

Таким образом, в настоящей работе установлены два эпитаксиальных соотношения пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ с осью c , расположенной приблизительно перпендикулярно плоскости роста (001) ZrO_2 . При этом в плоскости срастания наблюдались как 45° -градусное взаимное расположение осей $[100]$ пленки и подложки, так и параллельное. Разориентация кристаллитов, приводящая к уширению кривых качания, зависит от степени отклонения ростовой поверхности подложки ZrO_2 от ее кристаллографической плоскости (001).

ЛИТЕРАТУРА

1. Meyer O. et al. Phys. Rev., B37, 9757 (1988).
2. Edwards J. A. et al. J. Phys. C: Solid State Phys., 21, L1055 (1988).
3. Мартовицкий В. П., Родин В. В. Препринт ФИАН № 35, М., 1989.
4. Dimos D. et al. Phys. Rev. Lett., 61, 219 (1988).
5. Yamane H. et al. Jap. J. Appl. Phys., 27, L 1275 (1988).

Поступила в редакцию 24 февраля 1989 г.