

ОСОБЕННОСТИ ЭПИТАКСИИ YBaCuO НА ПОДЛОЖКАХ ($\bar{1}012$) LiNbO₃

В.П. Мартовицкий, В.В. Родин, В.Ф. Врацких*

Установлено, что пленки YBaCuO растут эпитаксиально на LiNbO₃ с ориентацией осей в плоскости срастания приблизительно параллельно [100] LiNbO₃ в его псевдокубической установке. Близость параметров решеток пленки и подложки вызывает деформацию решетки пленки.

Перспектива применения сверхпроводящих пленок YBaCuO в микроэлектронике требует всестороннего исследования эпитаксии этих пленок на различных подложках. Анизотропный характер структуры YBaCuO приводит к существенной зависимости электрофизических характеристик и деградационных свойств пленок от их структурных особенностей /1, 2/. Последние связаны с режимами получения и с величиной несоответствия параметров решеток пленки и подложки. Взаимная диффузия компонент вызывает, как правило, ухудшение характеристик растущих пленок. Поэтому уменьшение времени напыления и снижение температуры подложки способствуют получению качественных пленок. Например, всего за 5 минут методом лазерного распыления при температуре 750 °С были получены пленки YBaCuO на сапфире толщиной 0,2 мкм, которые имели $T_c = 89$ К /3/.

В работе /4/ установлено, что оси элементарной ячейки YBaCuO ориентированы приблизительно параллельно осям [100] сапфира в его морфологической ромбоэдрической установке. Описание сапфира в морфологической установке оправдано тем, что угол ромбоэдра (85,7°) близок к прямому и его решетку можно рассматривать как псевдокубическую. Ниобат лития изоструктурен с сапфиром с той лишь разницей, что позиции алюминия поочередно заняты ниобием и литием. В отличие от сапфира, имеющего ромбоэдрическую ячейку с параметром $a_r = 3,490$ Å, период идентичности ниобата лития вдоль оси [100] его морфологического ромбоэдра ($a_r = 3,765$ Å) близок к значениям $a = 3,82$ Å и $b = 3,89$ Å решетки YBaCuO. Поэтому из-за сильного взаимодействия на межфазной границе между пленкой и подложкой LiNbO₃ возможен более совершенный эпитаксиальный рост как, например, на SrTiO₃ /5/. К тому же ниобат лития является дешевым материалом, легко выращивается в виде крупных, качественных монокристаллов и имеет малое значение диэлектрической постоянной.

Таблица 1

Характеристики рефлексов пленки и подложки

Группа рефлексов	Материал	Рефлекс	Межплоскостное расстояние Å	Брэгговский угол, град.	Наклон (100), град.
1	LiNbO ₃	(303)	0,91211	57,62	46,75
	YBaCuO	(0,3.10)	0,86784	62,57	41,99
	YBaCuO	(3.0.10)	0,86080	63,48	42,51
2	LiNbO ₃	($\bar{3}\bar{3}0$)	0,85805	63,86	43,25
	YBaCuO	(0 $\bar{3}$ 9)	0,91786	57,06	45,00
	YBaCuO	($\bar{3}09$)	0,90905	57,88	45,52

* Институт теплофизики СО АН СССР.

В настоящей работе исследована структура пленок YBaCuO , выращенных на (100) LiNbO_3 методом лазерного распыления [3]. Ориентация осей пленки и подложки в плоскости срастания определялась по методике [6]. Псевдокубический характер структуры приводит к тому, что рефлексы типа $(hh0)$ и $(h0h)$ имеют различные значения брэгговских углов и углов наклона к ростовой поверхности. Поэтому были подобраны два набора рефлексов пленки и подложки, которые не перекрываются между собой и обеспечивают минимальную ошибку измерений при отклонении ростовой поверхности от точного положения кристаллографической плоскости (100) . В табл. 1 приведены рефлексы, используемые в настоящей работе.

Отметим, что индексам плоскости (100) в морфологической ромбоэдрической установке соответствуют индексы $(\bar{1}012)$ в гексагональной структурной установке. Переход от ромбоэдрических индексов к гексагональным осуществляется с помощью матрицы преобразования [7].

На рис. 1 приведены кривые качания обеих групп рефлексов, полученные в фиксированных положениях структуры при ее последовательных поворотах по часовой стрелке с шагом $0,2$ градуса. За нулевое значение принято положение максимума пика рефлекса (303) подложки. Экспериментально полученное угловое расстояние между максимумами $(\bar{3}\bar{3}0)$ и (303) ниобата лития ($86,3^\circ$) соответствует в пределах ошибки измерений вычисленному значению ($86,27^\circ$). Расположение максимумов рефлексов пленки вблизи максимумов рефлексов подложки и отсутствие заметной интенсивности их в других угловых положениях свидетельствуют об эпитаксиальном росте пленок YBaCuO на (100) LiNbO_3 с приблизительно параллельным расположением осей в плоскости срастания.

Наличие в каждом измеряемом положении пары рефлексов пленки, например, $(3'\cdot 0\cdot 10)$ и $(0\cdot 3\cdot 10)$ на рис. 1 говорит о том, что она состоит из двойников перестановки, у которых ось c общая, а оси a и b меняются местами [8, 9]. Рефлексы от домена с левой системой координат помечены штрихом. Положения

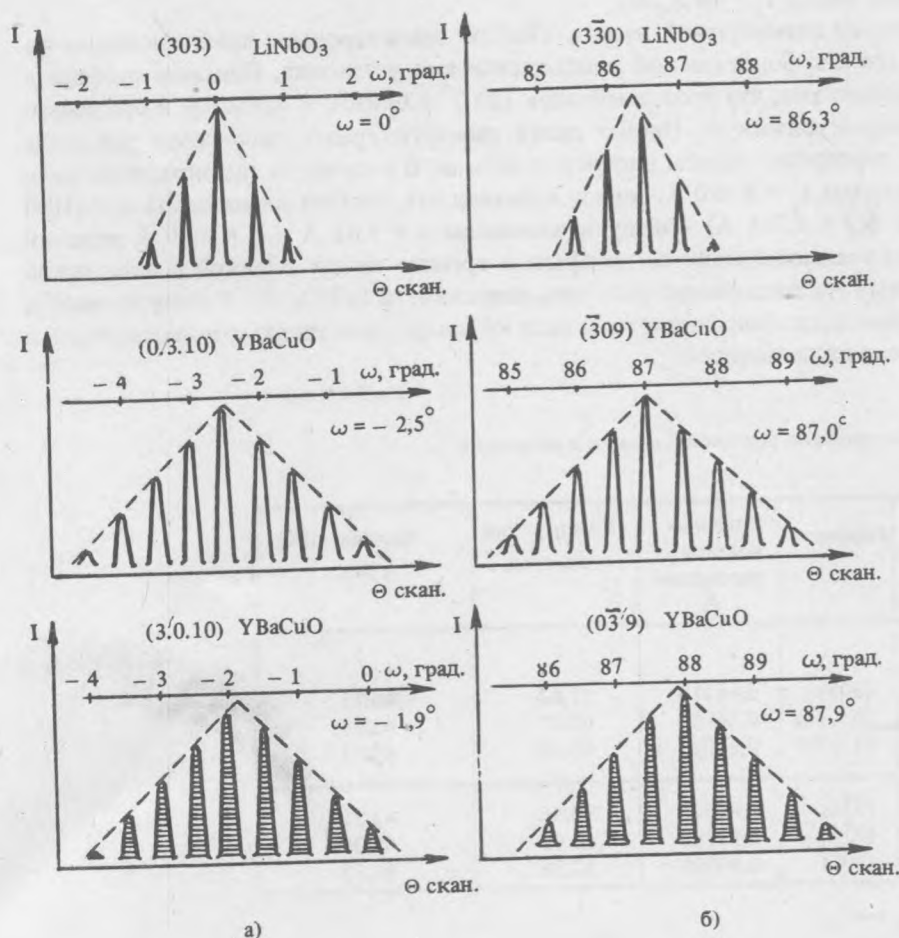


Рис. 1. Кривые качания рефлексов (303) подложки LiNbO_3 и $(0\cdot 3\cdot 10)$, $(3'\cdot 0\cdot 10)$ пленки, полученные при последовательных поворотах структуры вокруг нормали к ростовой поверхности с шагом $0,2$ градуса до (а) и после поворота ее на 90 градусов (б). За нулевое положение принято значение максимума (303) . Кривые качания домена с левой системой координат заштрихованы.

максимумов рефлексов пленки смещены относительно максимумов подложки таким образом, что образуемый угол между осями обратной решетки a^* и b^* каждого домена становится немного меньше 90 гра-

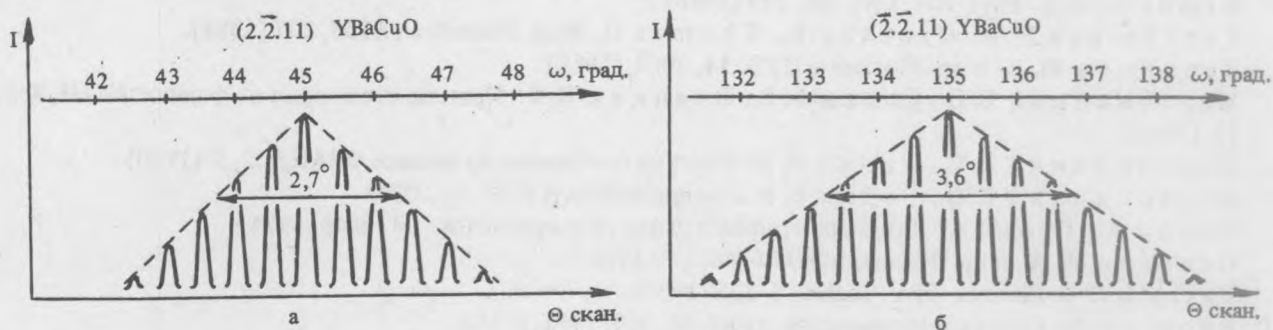


Рис. 2. Кривые качания рефлексов $(2.2.11)$ и $(\bar{2}.2.11)$ пленки, полученные при последовательных поворотах структуры вокруг нормали к ростовой поверхности с шагом 0,2 градуса.

дусов. Эти искажения происходят за счет смещения осей a^* обратных решеток каждого индивида. Поскольку между прямой и обратной решетками существует однозначное соотношение взаимности $|10|$, то сдвиг осей a^* соответствует сдвигу осей b в реальном пространстве. В результате этой деформации элементарная ячейка пленок $YBaCuO$, выращенных на $LiNbO_3$, становится моноклинной. Аналогичная ситуация имела место в пленках, полученных на разориентированных подложках $SrTiO_3$ /5/. Однако, в отличие от пленок на титанате стронция, деформация структуры доменов пленки неодинакова. Для индивида с правой системой координат она достигает 0,5 градуса, тогда как для индивида с левой системой координат она составляет всего 0,2 градуса.

Другой особенностью пленок $YBaCuO$ на $LiNbO_3$ являются неодинаковые значения отклонений угловых положений максимумов пленки относительно положений максимумов подложки. Например, на рис. 1а эти величины примерно вдвое больше, чем на рис. 1б. Установлено, что в зависимости от толщины и степени совершенства пленок могут изменяться как степень деформации решетки пленки, так и разориентация ее осей относительно подложки в плоскости их срастания.

Псевдокубическое строение ниобата лития приводит к неэквивалентности двух плоскостей $(0\bar{1}1)$ и $(0\bar{1}\bar{1})$, расположенных перпендикулярно к ростовой поверхности (100) . В результате, домены пленки двойнируются преимущественно по одной из этих плоскостей. На рис. 2 приведены кривые качания рефлексов $(2.2.11)$ и $(\bar{2}.2.11)$ пленки, полученные в фиксированных положениях структуры при ее последовательных поворотах вокруг нормали к ростовой поверхности с шагом 0,2 градуса. Угловая ширина рефлекса $(\bar{2}.2.11)$, измеренная между максимумами половинной интенсивности, примерно в полтора раза шире, чем ширина максимума рефлекса $(2.2.11)$ и составляет 3,6 градуса. Так как кристаллические плоскости $(1\bar{1}0)$ сдвойникованных доменов параллельны между собой, а $(\bar{1}\bar{1}0)$ развернуты приблизительно на 1,9 градуса, то полученный результат свидетельствует о преимущественном развитии одной системы двойнирования по границам $(1\bar{1}0)$. След этой границы является медианой тупого угла, образованного осями морфологического ромбоэдра ниобата лития.

Таким образом, в настоящей работе показано, что пленки $YBaCuO$ растут эпитаксиально на $LiNbO_3$ с практически параллельным расположением осей в плоскости срастания, как и на Al_2O_3 /4/. Близость параметров решеток $YBaCuO$ и морфологического ромбоэдра $LiNbO_3$ приводит к деформации элементарной ячейки пленок, сочетающей моноклинизацию ячейки с небольшим поворотом относительно осей подложки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dimos D. et al. Phys. Rev. Lett., **61**, 219 (1988).
2. Zandbergen H. W., Gronsky R., Thomas G. Phys. Status Sol., **A105**, 207 (1988).
3. Варламов Ю. Д. и др. Письма в ЖТФ, **14**, 2068 (1988).
4. Мартовицкий В. П., Родин В. В., Врацких В. Ф. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 3, 15 (1990).
5. Мартовицкий В. П., Родин В. В. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 2, 9 (1990).
6. Мартовицкий В. П., Родин В. В. Препринт ФИАН № 63, М., 1990.
7. Келли А., Гровс Г. Кристаллография и дефекты в кристаллах, М., Мир, 1974.
8. Осипьян Ю. А. и др. Письма в ЖЭТФ, **46**, 189 (1987).
9. Barry J. C. J. Electron. Micr. Techn., **8**, 325 (1988).
10. Вильсон А. Оптика рентгеновских лучей, М., ИЛ, 1951, с. 143.

Поступила в редакцию 6 июля 1990 г.