

05.4; 12

© 1991

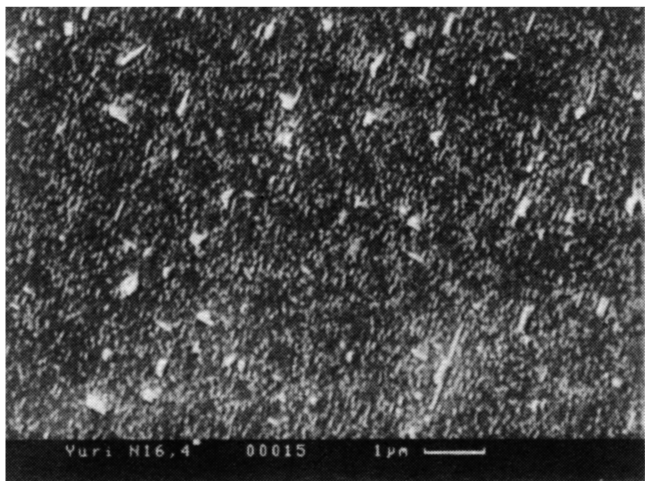
### ТРЕХСЛОЙНЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ СИСТЕМЫ $YBCO / NGO / YBCO$ , СФОРМИРОВАННЫЕ НА $(100) SrTiO_3$

Ю.А. Б о й к о в, З.Г. И в а н о в,  
 Т. К л а е с о н, Дж. Б р о р с о н,  
 М. Л о в г р е н

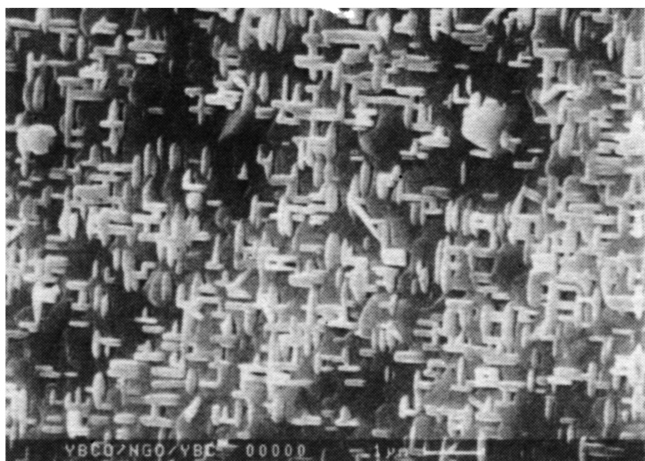
Разработка и исследование многослойных пленочных систем на основе ВТСП материалов имеет принципиальное значения для создания межсоединений, микроволновых передающих линий с малыми потерями, трансформаторов потока для СКВИДов и т.д. Тонкие пленки, применяемые в качестве изолирующих прослоек, должны быть химически инертными по отношению к ВТСП материалам, должны обладать определенными диэлектрическими свойствами и обеспечивать возможность формирования на их поверхности ВТСП пленок с заданными параметрами.

Монокристаллические подложки из галлатов переходных металлов успешно использованы для формирования эпитаксиальных пленок  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $YBCO$ ) [1, 2]. Среди указанной группы соединений наиболее оптимальным, с точки зрения формирования многослойных структур, набором параметров обладает  $NdGaO_3$  ( $NGO$ ). При сопряжении плоскостей  $(001) NGO$  и  $(001) YBCO$  может быть обеспечено минимальное ( $< 0.27$ ) рассогласование в параметрах кристаллической решетки,  $NGO$  имеет близкие к  $YBCO$  значения температурного коэффициента линейного расширения ( $\alpha \sim \sim 10 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ) и может быть получен в виде монокристаллов, свободных от двойников [2, 3]. В отличие от  $SrTiO_3$  ( $STO$ ), который использован в ряде работ [4, 5] в качестве изолирующего слоя в трехслойных системах сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник,  $NGO$  обладает относительно низкими значениями диэлектрической проницаемости ( $\epsilon \sim 26$ ) и  $tg \delta$  ( $3 \cdot 10^{-4}$  при 77 К) [2, 6]. Диффузия  $Ga$  из подложки в  $YBCO$  пленку, эпитаксиально выращенную на  $(001) NGO$ , как показано в [7], прослеживается только до глубины в несколько постоянных решетки.

В данной работе исследованы структура и параметры трехслойных систем  $YBCO / NGO / YBCO$ , сформированных методом лазерного распыления на  $(100) SrTiO_3$ . В качестве исходных мишеней использовались поликристаллические образцы  $YBCO$  и  $NGO$ , приготовленные по стандартной керамической технологии. Распыление мишеней проводилось в атмосфере кислорода ( $P=0.2$  мбар) с использованием эксимерного  $KrF$  лазера *QUESTEC* 2460 ( $\lambda=248$  нм,  $\tau=30$  нс). Плотность лазерного излучения



a



b

Рис. 1. Морфология свободной поверхности пленки  $YBCO$  на  $STO$  (a) и верхнего слоя  $YBCO$  трехслойной системы  $YBCO/NGO/YBCO$  (б).

на поверхности мишеней равнялась  $1.5 \text{ Дж/см}^2$ . Под действием каждого лазерного импульса на подложку конденсировался слой  $0.9 \text{ \AA } YBCO$  и  $1.1 \text{ \AA } NGO$ .  $YBCO$  и  $NGO$  пленки формировались „*in situ*“, т.е. непосредственно в процессе их конденсации при температуре  $T_c = 710 \text{ }^\circ\text{C}$  и последующего охлаждения в атмосфере кислорода ( $P = 1 \text{ бар}$ ). Структура и фазовый состав сформированных пленок и трехслойных систем анализировались с использованием дифрактометра *Philips PW 1710* и путем снятия

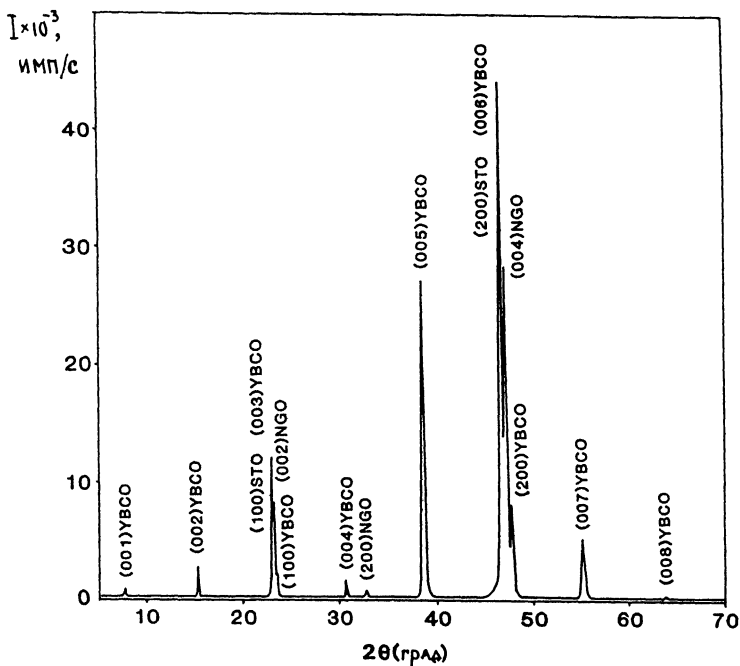


Рис. 2. Дифрактограмма, полученная в режиме  $\theta \sim 20$ , для трехслойной системы  $YBCO/NGO/YBCO$ .

рентгенограмм под настильными углами. Морфология поверхности конденсатов исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа *CamScan S4-80DV*. Толщина отдельных слоев в трехслойной системе  $YBCO/NGO/YBCO$  имела значения соответственно 300 нм, 250 нм, 300 нм.

Титанат стронция,  $YBCO$  и  $NGO$  обладают структурой перовскита [8], при сопряжении  $(100)STO$ ,  $(001)YBCO$ ,  $(001)NGO$  могут быть обеспечены малые различия в параметрах кристаллической решетки. Указанные обстоятельства способствуют эпитаксиальному росту  $YBCO$  пленок на поверхности  $STO$ ,  $NGO$  и  $NGO$  пленок на  $(001)YBCO$  при достаточно высокой подвижности частиц конденсируемого материала ( $T_{\text{п}}=700-750$  °C). Сформированные на  $(100)STO$  пленки  $YBCO$  являлись блочно-монокристаллическими, соответствующие им дифрактограммы содержали рефлексы только от плоскостей  $(001)$ . Отклонение оси  $C$  от нормали к плоскости подложки в отдельных кристаллических блоках и их азимутальная разориентация составляли порядка 30°. На поверхности  $YBCO$  пленок имелись отдельные, относительно крупные наросты, формирование которых может быть связано с конденсацией микрокластеров из мишени, и система мелких кристал-

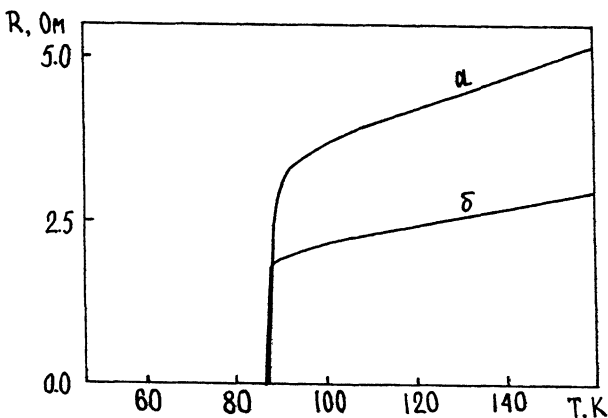


Рис. 3. Изменение с температурой сопротивления верхнего (а) и нижнего (б) слоев  $YBCO$  трехслойной системы  $YBCO/NGO/YBCO$

лических зерен, для которых ось  $C$  параллельна  $(001)STO$ . Электронномикроскопический снимок свободной поверхности  $YBCO$  пленки показан на рис. 1, а.

Результаты рентгеновского дифракционного исследования говорят о том, что при использованных температурах конденсации отсутствует заметное химическое взаимодействие между отдельными слоями системы. На рис. 2 приведена дифрактограмма для трехслойной системы  $YBCO/NGO/YBCO$ , полученная в режиме  $\theta \sim 2\theta$ . Из данных, приведенных на рисунке, следует, что для трехслойной системы  $YBCO/NGO/YBCO$  характерно наличие четко выраженной преимущественной ориентации составляющих ее пленок

$$(001)YBCO \parallel (001)NGO \parallel (001)YBCO \parallel (100)STO.$$

В верхнем слое  $YBCO$  имеются кристаллиты, для которых ось  $C$  параллельна плоскости подложки, об этом свидетельствуют рефлексы  $(100)YBCO$  на приведенной дифрактограмме. Наличие на дифрактограммах слабых рефлексов  $(200)NGO$  указывает на присутствие в пленке  $NGO$  незначительного количества дезориентированной поликристаллической фазы, формирование которой связано с указанными выше особенностями морфологии поверхности первого слоя  $YBCO$ . В [9] показано, что структура  $NGO$  пленок весьма чувствительна к качеству используемой подложки. Определенные с использованием данных рис. 2 параметры орторомбической элементарной ячейки  $NdGaO_3 = 5.493 \pm 0.005 \text{ \AA}$  и  $c = 7.716 \pm 0.005 \text{ \AA}$  хорошо коррелируют с литературными данными [10]. Температура сверхпроводящего перехода  $T_{R=0}$  для обеих пленок  $YBCO$  трехслойной системы имела значения порядка 88 К, изменение сопро-

тивления  $R$  верхнего и нижнего слоев  $YBCO$  с температурой показано на рис. 3. Поверхностное сопротивление для верхнего слоя  $YBCO$ , измеренное на частоте 21.5 ГГц имело при 4.2 К значения в интервале 12–16 м·Ом и примерно в 20 раз превышало соответствующие данные для пленки  $YBCO$  на  $(100)STO$ . Измерение поверхностного сопротивления проводилось с помощью плоского резонатора, составленного из пластины ниобия и исследуемой пленочной системы. Одной из причин относительно высоких значений  $R$  и поверхностного сопротивления для верхних слоев трехслойных структур является то, что значительную долю их объема ( $\sim 20\%$ ) составляют кристаллиты, для которых ось  $C \parallel (001)NGO$ . На рис. 1, б показана морфология свободной поверхности трехслойной системы  $YBCO/NGO/YBCO$ . На поверхности верхнего слоя  $YBCO$  хорошо видна азимутально четко ориентированная система кристаллитов, имеющих прямоугольную форму, для которых ось  $C$  параллельна плоскости подложки. При размерах использованной подложки  $STO$  5x5 мм слой  $NGO$  обеспечивал изоляцию  $YBCO$  пленок с сопротивлением более 500 К·Ом при  $T=300$  К, при понижении температуры сопротивление изоляции возрастало.

Трехслойные системы  $YBCO/NGO/YBCO$  были сформированы также на поверхности монокристаллических подложек  $(001)NdGaO_3$ . Структура и электрофизические параметры в таких системах были аналогичны тем, что получены при использовании подложек  $(100)STO$ .

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] S a s a u r a M., M u k a i d a M., M i y a z a w a S. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 57. N 25. P. 2728-2729.
- [2] M u k a i d a M., M i y a z a w a S., S a s a u r a M., K u r o k a K. // Jpn. J. Appl. Phys. 1990. V. 29. N 6. P. L936-936.
- [3] Y o u n g K.H., N e g r e t e G.V., E d d y M.M., S m i t h E.J. // Jpn. J. Appl. Phys. 1991. V. 30. N 8A. P. 1359-1362.
- [4] O h B., K o c h R.H., G a l l a g h e r W.J., R o b e r t a z z i R.P., E i d e l l o t h W. // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 59. N 1. P. 123-125.
- [5] K i n g s t o n J.J., W e l l s t o o d F.C., L e r c h P., M i k l i c h A.H., C l a r k e J. // Appl. Phys. Lett. 1990. N 56. P. 189-191.
- [6] Y o u n g K.H., N e g r e t e G.V., S u n J.Z. // Jpn. J. Appl. Phys. 1991. V. 30. N 8A. P. 1355-1358.

- [7] M u k a i d a M., M i y a z a w a S.,  
S a s a u r a M., Y o n e z a w a H. // J.  
Appl. Phys. 1991. V. 69. N 5. P. 3399-3401.
- [8] W y c k o f f R.W.G. // Crystal structure. V. 2,  
second edition, Inorganic Compounds  $RX_n$ ,  $R MX_2$ ,  
 $R_n MX_3$ , Interscience publishers, New York, 1964.
- [9] B o i k o v Yu.A., B r o r s s o n G., C l a -  
e s o n T., I v a n o v Z.G. // Appl. Phys.  
Lett. 1991. V. 59. N 20. to be published.
- [10] S a s a u r a M., M i y a z a w a S., M u -  
k a i d a M. // J. Appl. Phys. 1990. V. 68.  
N 7. P. 3643-3644.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе  
АН СССР, С.-Петербург  
Чалмерский университет  
технологии, S-41296,  
Гетеборг, Швеция

Поступило в Редакцию  
29 ноября 1991 г.