

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ
СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТОНКИХ ПЛЕНОК
 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\Delta}$

¹Шарибаев М., ²Отебаева Н., ¹Жуманова Н., ¹Абдикамалова Д.

¹Каракапакский государственный университет имени Бердаха. (Нукус, Узбекистан)

²Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Ташкент, Узбекистан)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22925698>

Аннотация: Среди известных сверхпроводников купратные сверхпроводники отличаются высокой критической температурой, что делает их идеальными для современных применений. В данном исследовании мы сосредоточиваемся на одном из таких купратных сверхпроводников — $\text{YBa}_x\text{Cu}_x\text{O}_x$ (YBCO). С целью получения высококачественных пленок YBCO с осями *a* и *c* были выращены пленки YBCO методом молекулярно-лучевой эпитаксии (MBE) из оксида и проанализированы с помощью дифракции высокоэнергетических электронов (RHEED), рентгеновской дифракции (XRD) и рентгеновской рефлексии (XRR). МЭДР позволила осуществлять мониторинг роста пленки *in situ*, а РДГ использовалась для анализа качества структуры, оценки изменений, необходимых для получения плёнок лучшего качества, и определения констант решётки. Наконец, РРР позволила оценить шероховатость поверхности и толщину плёнки. В целом, эти методы позволили вырастить высококачественные тонкоплёночные образцы YBCO с осями *a* и *c*.

Краткое изложение результатов исследования

В 1986 году был открыт первый купратный сверхпроводник — Ba-La-Cu-O [1]. Это открытие положило начало исследованиям «высокотемпературных» купратных сверхпроводников, которые продолжаются уже несколько десятилетий [2]. Эти исследования были направлены на создание сверхпроводников с более высокой температурой сверхпроводимости и поиск наилучших методов получения таких материалов. В результате появились тонкоплёночные сверхпроводники, которые позволили точно контролировать процесс создания сверхпроводников.

«Наш исследовательский проект сосредоточен на одном из таких высокотемпературных сверхпроводников: $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO). YBCO представляет интерес, поскольку это сверхпроводник с критической температурой около 90 К, что дает ему преимущество: для инженерных применений его можно переохладить до сверхпроводящего состояния с помощью жидкого азота. YBCO — это структурно универсальный представитель семейства купратов, который может быть синтезирован как с *a*-осью, так и с *c*-осью, причем в обоих случаях сверхпроводимость проявляется в плоскостях Cu-O [2]. Одним из важных применений тонких пленок YBCO с *a*-осью является их использование при изготовлении джозефсоновских переходов [3, 4] Целью данного проекта было получение высококачественных тонких пленок YBCO с осями *a*) и *c*) с использованием методов дифракции *in situ* и *ex situ*, а именно RHEED и XRD. Для синтеза

высококачественных тонких пленок оксидов большое значение имеет молекулярно-лучевая эпитаксия (МБЭ) оксидов, поскольку она обеспечивает точность на уровне атомного слоя. Соответственно, тонкоплёнки YBCO выращивались методом оксидного МБЭ. Процесс выращивания начинался с выбора подходящей подложки, обеспечивающей высокое качество роста YBCO. В рамках данного проекта в качестве подложки для выращивания YBCO по оси с был выбран оксид магния (100) MgO, а для выращивания YBCO по оси а — оксид лантана и алюминия (100) LAO. В дни роста эффузионные камеры МБЭ нагревались от температуры покоя до требуемых температур роста, и, по возможности, им давали время стабилизироваться после достижения желаемой температуры роста. Затем с помощью кварцевого микровесов (QCM) проводилась калибровка потоков отдельных элементов. После калибровки с помощью QCM проводились специальные калибровочные осаждения. После завершения этих калибровок начинался рост тонких пленок YBCO методом МБЭ.

Результаты и обсуждение.

В ходе роста качество пленок контролировалось *in situ* с помощью дифрактограмм отраженной дифракции высокоэнергетических электронов (RHEED), которые предоставляли информацию о качестве поверхности пленки и кристалличности [5]. На рис. 1 показан пример изображения RHEED, полученного во время роста пленки YBCO по оси а.

На дифракционной картине RHEED наличие четких зеркальных пятен (полос) и слабых промежуточных полос, а также отсутствие каких-либо дополнительных дифракционных пятен (обусловленных, например, образованием вторичных фаз) указывают на то, что пленка представляет собой образец высококачественного YBCO с осью а, где красные стрелки указывают на признаки внутриплоскостных отражений по оси с. По завершении роста пленки были Рис. 2. Кроме того, для характеристики пленок YBCO, в частности для определения их толщины, использовалась рентгеновская дифракция (XRR). Колебания отражательной способности, характерные для измерений XRR тонких пленок, включая полосы Киссига, использовались для количественного определения толщины тонких пленок, выращенных методом МБЭ

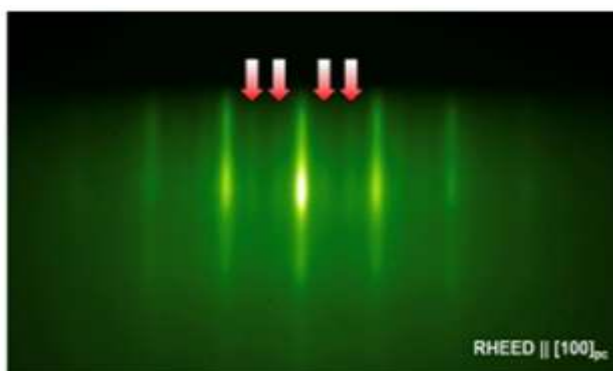


Рисунок 1. Изображение YBCO с осью а во время роста методом МБЭ.

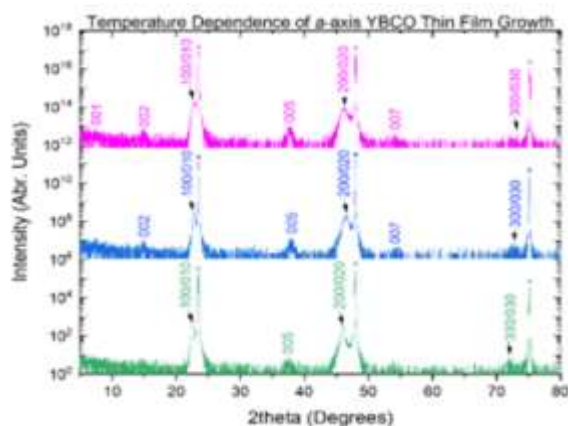


Рисунок 2. Дифрактограммы рентгеновской дифракции (XRD) для трёх различных плёнок YBCO с осью а на подложке LAO (100), выращенных при трёх разных температурах. Сверху вниз температуры (измеренные термопарой) составляют 445 °C (пурпурный), 435 °C (синий) и 425 °C (зелёный). Звёздочками обозначены пики подложки.

Закключение

В заключение можно сказать, что цель по улучшению качества тонких пленок YBCO как с осью а, так и с осью с была достигнута. Наша работа показывает, что создание высококачественных тонких пленок YBCO с осями а и с возможно за счёт выбора определённых температур роста и точного контроля стехиометрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. G. Bednorz и K. A. Maller, «Zeitschrift für Physik» (1986)
2. B. Keimer и др. Nature 18, 179–186 (2015)
3. CR Fom и др. Science 249, 1549–1552 (1990)
4. B. Vamer и др. Appl. Phys. Lett. 59, 742–744 (1991).
5. М. А. Херман и Хи, Ситер, «Молекулярно-лучевая эпитаксия: основы и современное состояние». Берлин-Гейдельберг, Springer-Verlag, 1989.
6. Р. И. Кава и др. Physica C 165, 419–433 (1990),