

Профилирование элементного состава по толщине тонких плёнок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ после осаждения импульсным эксимерным лазером из одной мишени

А.И. Ильин¹, В.К. Егоров¹, А.А. Иванов²

¹ Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской АН, Россия, 142432, Черноголовка, Московская обл., ул. Академика Осипьяна, д. 6

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31

Синтез однофазных эпитаксиальных плёнок позволил наладить производство сверхпроводящих (СП) лент и плёнок на основе $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO), востребованных в линиях электропередачи, высокопольных магнитах и системах магнитной левитации [1-3]. Функциональные свойства этих материалов напрямую зависят от равномерности распределения элементов, составляющих сверхпроводящую фазу $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, по толщине. Повышение этой однородности критически важно для улучшения СП-характеристик, таких как критическая температура (T_c), ширина перехода (ΔT_c) и плотность критического тока (J_c).

Другим фактором, осложняющим технологии изготовления двумерных приборов [3-4], является развитый рельеф поверхности плёнок. Период решетки орторомбической фазы YBCO в направлении [001] близок к 1,2 нм, и поэтому при послойном механизме роста Франка – Ван дер Мерве шероховатость поверхности не должна превышать этой величины. Однако островковый механизм Вольмера – Вебера или послойно-островковый механизм Странского – Крастанова при росте плёнок приводят к шероховатости поверхности, значительно превышающей один или два периода решетки, что можно объяснить вариациями скорости роста кристаллитов с отличающейся кристаллографической ориентацией относительно подложки. При импульсном лазерном осаждении плёнок сложного состава, таких как YBCO, на формирование морфологии влияет диффузионное перераспределение элементов матрицы и примесей в результате изменения температуры поверхности. Основная проблема при точном выборе режимов осаждения с помощью профилирования состава заключается в изменчивости морфологии поверхности и плотности дефектов кристаллической решетки, возникающих во время напыления, даже при использовании одной и той же мишени.

Для оценки распределения элементов по глубине в плёнках, синтезированных в различных условиях, был проведен комплексный анализ результатов их исследования методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгеновской дифракции (РД) и рентгеновской флуоресценции (РФА). Состав мишени определяли стандартным методом Резерфордского рассеяния (РОР) ионов H^+ и He^+ . При осаждении из мишени состава $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.8}$ были получены пленки толщиной 170–300 нм с температурой нулевого сопротивления $T_c(R=0)$, определенной по зависимости $R(T)$, в диапазоне 77.4–87 К. Образцы, осажденные со скоростью $\sim 0,5$ нм/с, характеризовались значениями $T_c(R=0) = 85\text{--}87$ К и величиной кислородного индекса $\sim 6,9$ (пленки 1, 4). Снижение скорости осаждения до

значений менее 0,1 нм/с при длительности процесса 30–60 мин приводило к падению $T_c(R=0)$ до ~ 77 К при значениях кислородного индекса $\sim 6,75$ (пленки 2, 3).

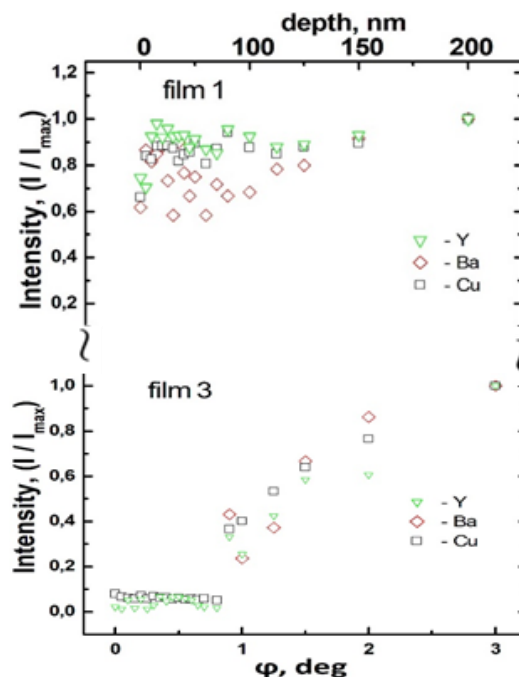


Рис.1. Распределение относительной интенсивности пиков рентгеновской флуоресценции ($I/I_{\max}$) для атомов Y, Ba, Cu в пленках 1 и 3 в зависимости от: угла падения возбуждающего рентгеновского потока φ (градусы) – нижняя шкала и глубины (нм) – верхняя шкала. Скорости осаждения пленок 1 и 3 составили 0,5 и 0,1 нм/с, а высота пирамид на поверхности ~ 20 и 80 нм, соответственно.

Наблюдаемые профили состава плёнок в зависимости от скорости осаждения указывают на изменения содержания элементов вдоль оси c , перпендикулярной подложке (рис. 1). Поэтому функциональные свойства определяются не только средней концентрацией кислорода, но и вариациями содержания в тонких плёнках других элементов.

1. Manabe, T.; Kondo, W.; Yamaguchi, I.; Sohma, M.; Tsuchiya, T.; Tsukada, K.; Mizuta, S. & Kumagai, T., Physica C 417 (2005), 98-102
2. Wang, K.; Dong H.; Huang D.; Shang H.; Xie B.; Zou Q.; Zhang L.; Feng C.; Gu H.; Ding F. Soft. Sci. 2 (2022), 12
3. Goyal, A. (Ed.) Springer US, (2005), 346
4. V. L. Gurtovoi, A. I. Il'in, A.V. Nikulov, Physics Letters A., 2020, v. 384, № 26, C. 126669