

УДК 538.9

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК Nb_3Sn МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

А.И. Савельев

Научный руководитель: к.т.н. Ю.Н. Юрьев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ais50@tpu.ru

DEPOSITION OF Nb_3Sn THIN FILMS BY MAGNETRON SPUTTERING

A.I. Savelyev

Scientific Supervisor: PhD. Y.N. Yuriev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: ais50@tpu.ru

Abstract. *This research is aimed at determining the optimal operating modes of the magnetron source, under which the formation of Nb-Sn thin films of the required composition occurs. The deposition was carried out by the method of layer-by-layer deposition of Nb and Sn and using a stoichiometric target. The coatings were annealed in vacuum at a temperature of 800 °C for 12 hours.*

Введение. Тонкие пленки Nb_3Sn представляют интерес в качестве сверхпроводящих покрытий для радиочастотных резонаторов, так как обладают критической температурой сверхпроводимости $\sim 18,3$ К, что лучше, чем у чистого Nb или NbTi [1, 2]. Сложностью получения таких покрытий является их хрупкость. Известные на данный момент методы получения используют в процессе формирования токсичные вещества, а в пленках наблюдается образование нежелательных кристаллических фаз $NbSn_2$ и Nb_6Sn_5 [3, 4]. Реактивное магнетронное распыление является перспективным методом получения тонких пленок Nb_3Sn , так как позволяет наносить однородные покрытия требуемой стехиометрии на изделия сложной формы без использования вредных веществ [5]. Настоящая работа направлена на получение зависимостей формирования структурного и фазового состава Nb-Sn покрытий от режимов магнетронного распыления.

Экспериментальная часть. При получении тонких пленок Nb_3Sn были использованы методы послойного осаждения Sn и Nb и осаждение из композитной мишени Nb_3Sn стехиометрического состава. Чтобы исключить взаимную диффузию материала пленки с материалом подложки при проведении вакуумного отжига, осаждение производилось на сапфир. На рис. 1 представлены схемы экспериментов. В обоих случаях перед напылением проводился процесс очистки подложек пучком ионов аргона. При послойном осаждении магнетронные распылительные устройства располагались напротив друг друга, а подложка фиксировалась на карусели с использованием секторной заслонки, которая позволяет исключить взаимное влияние плазменных потоков при напылении. Во втором случае напыление происходит на подложку, расположенную на карусели, которая вращаясь, проходит через плазменный поток.

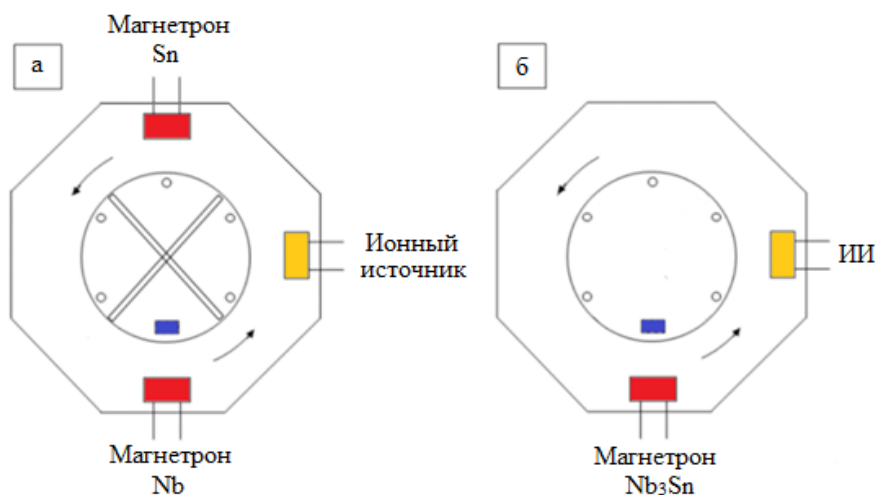


Рис. 1. Схема эксперимента послойного осаждения Nb и Sn (а) и с использованием мишени из Nb₃Sn (б)

Так как соединение Nb₃Sn образуется при содержании Sn в пленке от 19 до 26 ат. %, первоначально необходимо было определить режимы магнетронного распыления при которых будет получена необходимая стехиометрия. Процесс проводился после получения остаточного вакуума не хуже $3 \cdot 10^{-3}$ Па. При послойном осаждении мощность на магнетроне с мишенью Nb не изменялась и была равна 2,2 кВт, мощность на магнетроне с мишенью Sn изменялась от 0,5 до 2 кВт с шагом 0,25 кВт, напуск аргона производился до давления 0,2 Па. При использовании композитной мишени подаваемая мощность составляла 0,5 кВт и была постоянной, изменялось давление аргона в диапазоне 0,05-0,45 Па.

Для формирования фазы Nb₃Sn покрытия отжигались в вакууме $1,5 \cdot 10^{-3}$ Па и температуре 800 °С в течение 12 часов.

Результаты. Для определения требуемых рабочих параметров была измерена концентрация Sn в пленках для каждого режима и построены графики зависимости концентрации Sn от изменяемого параметра для обоих способов напыления (рис. 2).

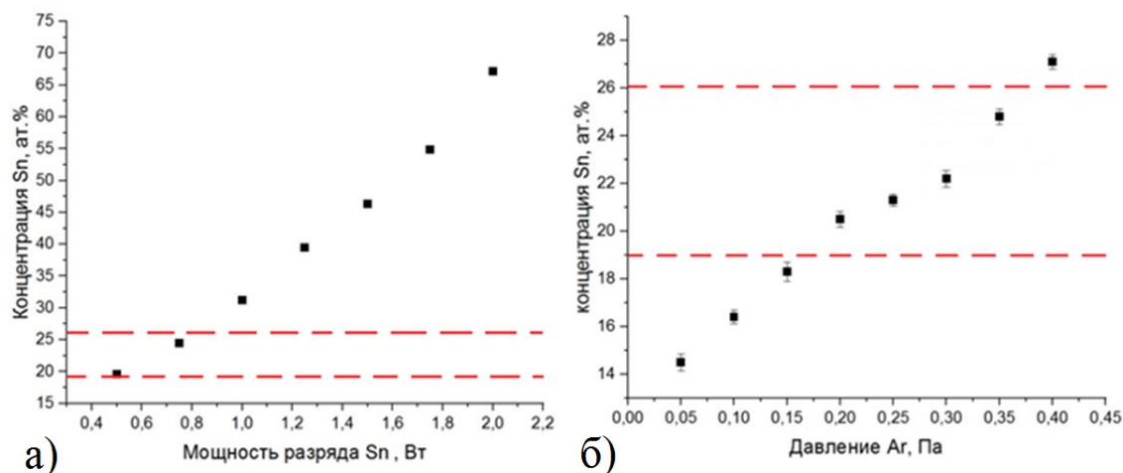


Рис. 2. Зависимость концентрации Sn в пленке от мощности на магнетроне с Sn мишенью (а) и от давления Ar (б)

Отожженные пленки исследовались на рентгеновской дифракции. Полученные спектры показывают наличие таких фаз, как Nb_3Sn и NbO . Присутствие NbO объясняется окислением покрытий в процессе отжига из-за негерметичности вакуумной печи.

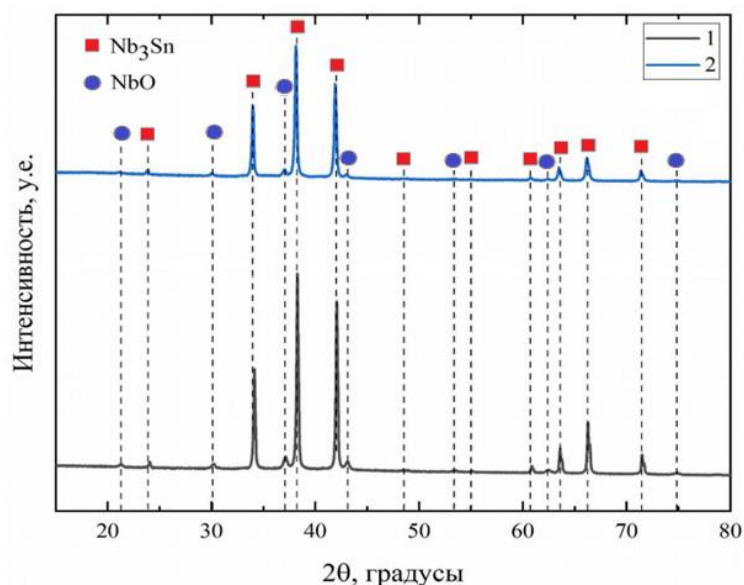


Рис 3. Спектры рентгеновской дифракции, полученные для сформированных тонких пленок Nb-Sn после отжига: 1 – послойное осаждение Nb и Sn; 2 – композитная мишень

На рис. 3 представлены результаты рентгеноструктурного анализа, подтверждающие образование требуемой фазы Nb_3Sn .

Заключение. Определены рабочие режимы осаждения покрытий Nb-Sn методом реактивного магнетронного распыления, при которых в пленках Sn содержится в диапазоне от 19 до 26 ат. %. Рентгеноструктурный анализ отожженных покрытий показал образование сверхпроводящей фазы Nb_3Sn .

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 21-12-00364).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sayeed M. N. et al. Structural and superconducting properties of Nb_3Sn films grown by multilayer sequential magnetron sputtering // Journal of Alloys and Compounds. – 2019. – V. 800. – P. 272-278;
2. Pudasaini U. et al. Growth of Nb_3Sn coating in tin vapor-diffusion process // Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films. – 2019. – V. 37., №. 5. – P. 051509;
3. Менде Ф.Ф., Бондаренко И.Н., Трубицын А.В. Сверхпроводящие и охлаждаемые резонансные системы. – Киев. : Наукова думка., 1976. – 270 с.
4. Franz S. et al. Electrochemical synthesis of Nb_3Sn coatings on Cu substrates // Materials Letters. – 2015. – V. 161. – P. 613-615;
5. Ilyina E.A. et al. Development of sputtered Nb_3Sn films on copper substrates for superconducting radiofrequency applications // Superconductor Science and Technology. – 2019. – V. 32., №. 3. – P. 035002.