

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ
СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ СТАННИДА ТРИНИОБИЯ
МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ
ДЛЯ ЗАДАЧ УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ***

Ю.Н. Юрьев^{1,2}, Ю.С. Бордулев¹, А.Е. Харисова^{1,2},
Т.В. Селезнева¹, А.И. Савельев¹, А.И. Казимиров²

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

² *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

Рассмотрены некоторые закономерности формирования покрытий станнида триниобия при их осаждении методом магнетронного распыления с использованием стехиометрической мишени. Определен оптимальный режим работы магнетронного источника, исследован элементно-фазовый состав, микроструктура формируемых пленок, а также их изменение в процессе высокотемпературного отжига. Результаты исследований указывают на то, что оптимальные с точки зрения элементного и фазового состава покрытия получены в режиме осаждения при давлении аргона в рабочей камере 0.3 Па и температуре высоковакуумного отжига 800 °С.

Ключевые слова: *магнетронное напыление, металлическая плазма, станнид триниобия, сверхпроводящие покрытия, высокотемпературный отжиг.*

Введение

Сверхпроводящие резонаторы позволяют достигать исключительно высоких значений добротности, более чем на шесть порядков выше, чем для традиционных проводящих резонаторов [1]. Даже с учетом затрат на охлаждение использование сверхпроводников для задач ускорительной техники позволяет достичь снижения энергопотребления примерно на три порядка [2].

На сегодняшний день основным материалом для изготовления сверхпроводящих резонаторов является ниобий, имеющий достаточно высокую критическую температуру и величину критического магнитного поля. Однако, несмотря на отработанную технологию получения ниобиевых резонаторов как в России, так и за рубежом, существенный недостаток резонаторов из чистого ниобия заключается в их высокой стоимости и сложности обработки [3, 4]. Альтернативный подход связан с использованием тонкопленочных покрытий из ниобия, при этом сам резонатор может быть изготовлен, например, из меди, а толщина покрытия, достаточная для сохранения сверхпроводящих свойств при воздействии высокочастотного электромагнитного поля, не превышает единиц микрометров [5]. Резонаторы, изготовленные по такому принципу, используются во многих современных ускорителях [6–8].

В то же время возможности увеличения напряженностей электрических полей в «традиционных» сверхпроводящих резонаторах на основе чистого ниобия или ниобиевых покрытий практически исчерпаны. В этой связи перспективным представляется использование резонаторов с покрытиями из станнида триниобия [9, 10]. Станнид триниобия на сегодняшний момент получил широкое распространение в индустрии при изготовлении сверхпроводящих проводов и магнитов, в основном при спекании порошков [11]. Однако требования к Nb_3Sn при использовании в высокочастотном режиме существенно отличаются от постоянного сильноточного режима. В частности, в отличие от технологии изготовления сверхпроводящих магнитов, в которых используется мелкодисперсный нестехиометрический станнид триниобия, необходимый для большей магнитной проницаемости и большего значения критического магнитного поля, для высокочастотных резонаторов требуются покрытия с достаточно крупными зёрнами и высокой чистотой [12].

К настоящему моменту предложено и разработано несколько различных методов для нанесения тонких слоев Nb_3Sn на сверхпроводящие высокочастотные резонаторы. Один из подходов заключается в погружении ниобиевых резонаторов в расплавленное олово и их последующее спекание, однако в результате этого процесса на поверхности могут остаться капли олова и нежелательные фазы с избыточным содержанием олова [13]. Использовался и вариант соиспарением мате-

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

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>