

## ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЛАЗМЫ ОЛОВА И НИОБИЯ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ\*

Ю.Н. Юрьев<sup>1,2</sup>, А.Е. Харисова<sup>1</sup>, Т.В. Селезнева<sup>1</sup>,  
А.И. Савельев<sup>1</sup>, А.И. Казимиров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

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

Исследованы некоторые закономерности формирования покрытий на основе системы ниобий – олово при использовании магнетронного распыления. Покрытия получены как в режиме послойного, так и одновременного напыления от двух источников плазмы. Определен оптимальный режим работы магнетронного источника для обеспечения поверхностной концентрации олова на уровне 19–26 ат.%. Исследованы элементный состав, микроструктура полученных пленок. Проведено исследование структурно-фазового состава после отжига образцов в высоковакуумной печи при температуре 800 °С. Результаты исследований указывают на формирование интерметаллидной фазы станнида триниобия, при этом наилучшие результаты с точки зрения ожидаемых сверхпроводящих свойств получены в режиме одновременного осаждения покрытий.

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

### Введение

Резонаторы на основе сверхпроводящего ниобия получили широкое практическое распространение в ускорительной технике [1]. Такие резонаторы имеют высокие значения добротности и обеспечивают высокие градиенты ускоряющего поля [2]. В то же время возможности улучшения свойств резонаторов на основе ниобия практически исчерпаны.

Возможная альтернатива традиционному ниобию заключается в использовании станнида триниобия  $Nb_3Sn$  [3–6]. К настоящему моменту предложено и разработано несколько различных методов для нанесения тонких слоев  $Nb_3Sn$  на сверхпроводящие высокочастотные резонаторы. В одном из таких методов ниобиевые резонаторы погружали в расплавленное олово с последующим спеканием, но в результате такого процесса на поверхности могут остаться капли олова и нежелательные фазы, богатые оловом [7]. В другом методе осуществлялось соиспарение материалов электронным пучком, данный процесс сопровождался осаждением покрытий из паровой фракции, однако формируемые покрытия характеризовались структурной неоднородностью [8]. Кроме того, были проведены попытки использовать метод химического осаждения из газовой фазы, но резонаторы, полученные этим методом, не продемонстрировали высоких градиентов ускоряющего поля [9]. На сегодняшний день на практике используют метод, который был разработан в компании «Siemens», где в высоковакуумных печах при температуре порядка 1100–1200 °С происходит насыщение ниобиевых резонаторов парами олова, что позволяет получить покрытия с толщиной до нескольких микрометров [10].

Также значительные успехи в формировании покрытий на основе ниобия были достигнуты методом магнетронного напыления. Использование данного метода при формировании покрытий на основе станнида триниобия активно разрабатывается в последние несколько лет [11–13].

Настоящая работа посвящена исследованию возможности формирования покрытий на основе станнида триниобия методом магнетронного напыления при использовании двух отдельных источников (ниобий и олово) в режимах одновременного или послойного осаждения покрытий.

### Экспериментальная установка и методика исследований

Эксперименты по исследованию закономерностей и особенностей формирования плазменных потоков ниобия в условиях сверхвысокого вакуума проводились при использовании комплексной вакуумной установки научно-образовательного центра им. Вейнберга, внешний вид которой представлен на рис. 1.

\* 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>