

## КРИТИЧЕСКИЕ ТОКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК $V_3Si$

Ю. А. Башкиров, С. А. Медведев, И. В. Матвеев

По своим основным сверхпроводящим характеристикам  $V_3Si$ , по-видимому, не уступает станиду ниобия<sup>1</sup>, однако не смотря на это он до сих пор не нашел практического применения. Это связано с трудностями технологического порядка. Для станида ниобия их удалось преодолеть сравнительно быстро благодаря разработке диффузионных<sup>2</sup> и кристаллизационных<sup>3</sup> методов образования фазы  $Nb_3Sn$  и химического метода осаждения из газовой фазы<sup>4</sup>. Особенности химических свойств ванадия и диаграммы состояния системы V-Si до сих пор не позволили столь же успешно изготавливать сверхпроводящую фазу  $V_3Si$  в виде гибких сверхпроводящих лент или кабелей, пригодных для практических применений. В настоящей работе приводятся предварительные результаты исследования сверхпроводящих свойств металлических лент, покрытых тонкой пленкой сверхпроводящего силицида ванадия.

Для непрерывного нанесения пленки на движущуюся подложку был применен новый метод кристаллизации из паровой фазы, содержащей оба компонента покрытия в строго контролируемом соотношении. Данный метод позволяет изготавливать длинные отрезки лент с однородным покрытием из силицида ванадия различного состава толщиной 1-2 мк.

Химический состав и толщина покрытий определялись методом рентгеновского флуоресцентного анализа<sup>5</sup> с точностью соответственно 0,5 вес.% и 0,05 мк. Флуоресцентный анализ по интенсивностям аналитичес-

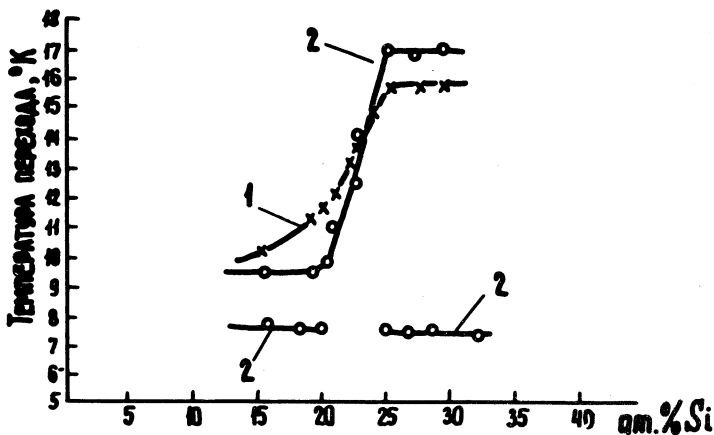
ких линий ванадия ( $K\beta_1$ ) и кремния ( $K\alpha_1$ ) проводился на рентгеновском спектрометре фирмы Rigaku Denki.

При измерении критического тока ленточные образцы приваривались с помощью точечной сварки к полоскам сплава Cu-Ni, которые в свою очередь припаивались к тоководам держателя образца. Подобным же образом изготавливались и потенциальные контакты. Использование потенциометрической методики позволяло регистрировать падение напряжения  $1,0 \cdot 10^{-7}$  в, которое и принималось за начало фазового перехода. Расстояние между потенциальными контактами образцов, которые в форме шпильки помещались в сверхпроводящий соленоид, составляло 10 мм.

Для измерения температуры перехода использовалась также потенциометрическая методика. Образцы помещались в специальную камеру, где с помощью нагревателя могла регулироваться температура, измеряемая стандартным германиевым термометром. Измерительный ток составлял 300 ма, точность отсчета температуры составляла  $0,1^\circ\text{K}$ .

На рис. 1 приведена зависимость температуры перехода пленок силицида ванадия от их состава. В целом она хорошо согласуется с данными работы<sup>6</sup>, согласно которой при температуре  $1200^\circ\text{C}$  протяженность области существования фазы  $V_3\text{Si}$  со структурой типа A15 составляет около 5 ат.%  $^3\text{Si}$  (от 20 до 25 ат.% Si). Образцы, исследованные в настоящей работе, были получены при значительно более высоких температурах ( $1500 - 1600^\circ\text{C}$ ). Как видно из рис. 1 (кривая 1), при этих температурах область существования фазы  $V_3\text{Si}$ , по-видимому, увеличена за счет расширения в сторону составов с малым содержанием кремния. Кривые перехода одной и той же пленки силицида ванадия с содержанием кремния 18 ат.%, снятые непосредственно после изготовления и после термообработки при  $1200^\circ\text{C}$  в течение 8 часов, приведены на рис. 2 (соответственно кривые 1 и 2). В процессе из-

готовления пленка силицида ванадия претерпевает охлаждение со скоростью  $\sim 500^\circ\text{C}/\text{сек}$ . "Размытый" переход у исходных образцов можно объяснить неравновесностью и мелкодисперсностью закаленных фаз. В процессе отжига образцы с содержанием кремния  $< 20$  ат.% претерпевают частичный распад с образованием

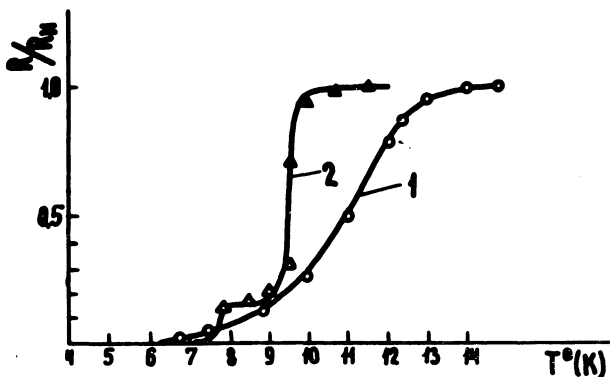


Р и с. 1. Зависимость температуры перехода в сверхпроводящее состояние пленок силицида ванадия от содержания кремния (1 -  $T_K$  пленок, измеренных непосредственно после изготовления, 2 -  $T_K$  пленок, прошедших термообработку при  $1200^\circ\text{C}$  в течение 8 часов)

фазы  $V_3Si$  предельного состава ( $\sim 20$  ат.% Si) и твердого раствора кремния в ванадии. На кривых отчетливо наблюдается появление вместо одного размытого перехода двух ступенек, соответствующих указанным фазам. К аналогичному результату приводит термообработка неравновесных покрытий с содержанием кремния  $> 25$  ат.%. На кривых перехода этих образцов появляется ступенька, соответствующая переходу в сверхпроводящее состояние тетрагональной фазы  $V_5Si_3$  при температуре  $\sim 7,5^\circ\text{K}$ . Результаты измерения  $T_K$  термообработанных образцов представлены

кривыми 2 на рис. 1. Температура перехода фазы  $V_3Si$  стехиометрического состава (25 ат.% Si) после термообработки повышается с 15,5–15,6°K до 17,0–17,1°K.

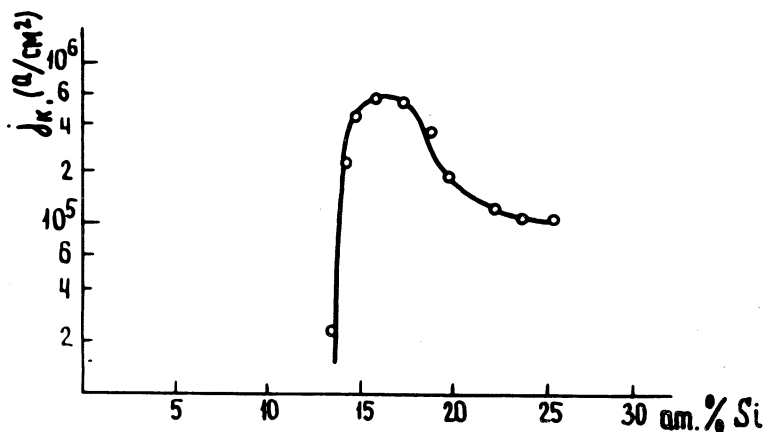
На рис. 3 представлены значения критической плотности тока сверхпроводящих покрытий различного со-



Р и с. 2. Кривые перехода в сверхпроводящее состояние пленки силицида ванадия с содержанием кремния 18 ат.%, снятые непосредственно после изготовления (кривая 1) и после термообработки при 1200°С в течение 8 часов (кривая 2).

става толщиной 1 мк в поперечном магнитном поле напряженностью 45 кэ. Из сопоставления данных, приведенных на рис. 3 и рис. 1, можно сделать вывод, что повышение критической плотности тока в области составов с содержанием кремния 15 ат.% по сравнению с образцами, близкими к стехиометрическому соединению  $V_3Si$  (20 – 25 ат.% Si), связано с переходом в двухфазную область. В матрице из сверхпроводящего соединения  $V_3Si$  частицы второй фазы (в данном случае, твердого раствора кремния в ванадии), по-видимому, служат дополнительными центрами зацепления связок вихревых нитей магнитного потока.

Таким образом, показано, что величина критического тока сверхпроводящих пленок силицида ванадия, изготовленных в виде покрытий на металлических лентах новым методом кристаллизации из паровой фазы, зависит от их химического состава, причем максималь-



Р и с. 3. Зависимость критической плотности тока пленок силицида ванадия в поперечном магнитном поле 45 кэ от химического состава.

ные значения критического тока достигаются не на однофазных образцах стехиометрического состава  $V_3Si$ , а на двухфазных образцах, содержащих выделения твердого раствора кремния в ванадии.

Поступила в редакцию  
20 июля 1970 г.

## Л и т е р а т у р а

1. E. Saur, H. Witzgall, Труды X Международной конференции по физике низких температур, М., Изд-во ВИНТИ, 1967, том ПВ, стр. 128
2. O. Smulkowski, Bull. Inform. Sci. Techn. CEA 1966, N108.
3. С. А. Медведев, К. В. Киселева, В. А. Лыхин. ФММ, 24, 1050 (1967).
4. J. J. Hanak, K. Strater, G. W. Gullen RCA Review, 25, 342 (1964).
5. Ю. А. Башкиров, Б. И. Денкер. Изв. АН СССР, Неорганические материалы. 6, 20 (1970).
6. Н. А. С. М. Bruning, Philips Res. Repts., 22, 349 (1967).
7. Ю. А. Башкиров, С. А. Медведев. Сб. "Физико-химия, металловедение и металлофизика сверхпроводников". Изд-во "Наука", 1968 г., стр. 44.