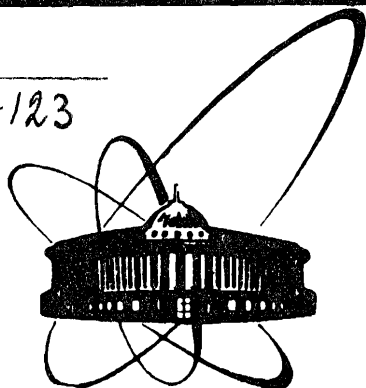


B-123



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P13-86-860

И. Вавра*, С. А. Корнев

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК
ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Направлено в "Журнал технической физики"

* Электротехнический институт ЦЭФИ САН, Братислава, ЧССР.

1986

При использовании сверхпроводящих пленок из Nb_3Sn , Nb_3Ge на ленточной основе в различных электротехнических устройствах возникает задача обработки ее поверхности с целью снижения микронеровностей. В работе ^{/1/} показано, что при протекании переменного тока в поверхностном слое сверхпроводящей пленки - токонесущей части сверхпроводящего кабеля наблюдаются потери энергии из-за дефектов и микронеровностей в этом поверхностном слое. В другой работе ^{/2/} определен допуск на шероховатость поверхности этой пленки, который составляет $\sim 0,15$ мкм. Хрупкость сверхпроводящей пленки со структурой A_{15} делает практически невозможной механическую обработку - полировку поверхности. Поэтому применяется электрохимическая и химическая обработка Nb_3Sn , Nb_3Ge . Однако особенности режимов электрохимической и химической обработки покрытий Nb_3Sn и Nb_3Ge приводят к их сложности ^{/3/}. Поэтому поиск новых методов обработки поверхности сверхпроводников является весьма актуальным.

В данной работе предложен метод обработки поверхности тонких пленок оплавлением его поверхности импульсным электронным пучком. Приводятся результаты применения этого метода для пленочного образца из сверхпроводника со структурой A_{15} (Nb_3Ge).

Анализ современных направлений в технологии обработки материалов, связанных с использованием импульсных электронных пучков, показывает, что электронный пучок может быть мощным энергоносителем ^{/4/}. Для примера, при длительности импульса тока пучка электронов $\tau_u = 300$ нс кинетической энергии 100 кэВ и плотности тока пучка $j = 500$ А/см², плотность мощности в пучке составляет $q = uj = 10^5 \cdot 500 = 5 \cdot 10^7$ Вт/см². Этого значения плотности мощности достаточно для практического применения, т.к. $q > q_0 = 10^6$ Вт/см² ^{/4/}.

Известна также лазерная обработка поверхности материалов ^{/4/}. При этом результаты лазерной и электронной обработки аналогичны, а преимущества электронной обработки состоят в следующем: а) она не зависит от оптических характеристик поверхности, которая обрабатывается; б) имеет более широкие возможности изменения параметров энергосносителя (пучка электронов по сравнению с лазерным излучением).

Эксперименты по поверхностной обработке токонесущего олоя ленточного сверхпроводника импульсным электронным пучком проводилась на установке, описанной в ^{/5/}. Установка включает в себя плазменный ис-

точник электронов и промышленный генератор импульсного напряжения Аркадьева-Маркса типа ГИИ-500. В источнике электронов использовался многоострый катод со взрывной эмиссией, а анод был выполнен из сетки нержавеющей стали с коэффициентом прозрачности $\sim 0,7$ и диаметром проволок $\sim 0,05$ мм. Ток пучка электронов измерялся интегрирующим поясом Роговского. Регулировка плотности тока пучка осуществлялась изменением эффективного зазора между анодом и катодом ^{/6/}.

В экспериментах использовался электронный пучок со следующими параметрами:

- 1) кинетическая энергия..... 100 кэВ;
- 2) плотность тока пучка..... $400 + 1000$ А/см²;
- 3) длительность импульса тока пучка..... 300 нс;
- 4) поперечная неоднородность плотности тока не более 5%;
- 5) диаметр пучка электронов..... 5 мм.

На рис.1 приведена типичная осциллограмма импульса тока пучка электронов, а на рис.2 - энергетический спектр пучка электронов.

Для фотографирования поверхности пленок использовался микроскоп марки $VS-350$ (ЧССР). Критическая температура T_K сверхпроводящей пленки измерялась индуктивным методом.

Образцы облучались пучком электронов в вакуумной камере при давлении остаточного газа $P \sim 10^{-5}$ торр. Образцы были подготовлены в ЭИ ЦЭФИ САН (г. Братислава, ЧССР) методом осаждения из паровой фазы слоя Nb_3Ge сверхпроводника толщиной около 5 мкм ^{/7/}. Сверхпроводящий слой состоит в основном из A_{15} фазы Nb_3Ge с преимущественной ориентацией $\langle 002 \rangle$ перпендикулярно поверхности подложки. Кроме того, в слое имеется гексагональная фаза Nb_3Ge_3 , которая расположена вблизи поверхности. Шероховатость поверхности покрытий значительна (см. фотографию на рис.3а), а средняя высота острий $\sim 5 + 6$ мкм. С учетом последнего средняя толщина слоя Nb_3Ge (собственно толщина и высота острий) составляет $\sim 10 + 11$ мкм. Из приведенной на рис. 2 расчетной зависимости длины пробега электронов в Nb_3Ge от кинетической энергии пучка электронов по методике ^{/8/} видно, что электроны с кинетической энергией $20 + 90$ кэВ участвуют в формировании поверхностного слоя при его облучении.

Критическая температура перехода в сверхпроводящее состояние $T_K = 20,95$ К; ширина перехода $\Delta T_K = 350$ мК. Температура плавления Nb_3Ge равна $1910^\circ C$, а температура плавления подложки - $1425^\circ C$.

Проведенные эксперименты показали, что в зависимости от плотности тока наблюдаются разные степени обработки поверхности, начиная с оплавления самых высоких неровностей и кончая полной рекристаллизацией сверхпроводящего покрытия (рис.3б, в, г).

испытан
1986-1987

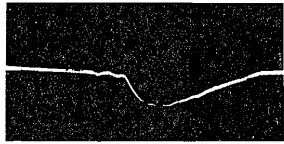


Рис.1. Осциллограмма импульса тока пучка электронов. Ток пучка электронов 200 А. Масштаб по оси абсцисс 100 нс/деление.

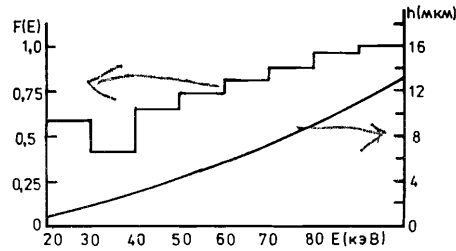


Рис.2. Энергетический спектр пучка электронов (E) и зависимость длины пробега электронов h от кинетической энергии электронов E.

Фотографии поверхности Nb_3Ge соответствуют однократным облучениям образцов электронным пучком. Рентгенодифракционный анализ рекристаллизованного слоя показывает, что при такой обработке исчезает преимущественная ориентация Nb_3Ge покрытия. На дифрактограмме не появляются дифракционные пики от Nb_5Ge_3 гексагональной фазы и повышается фон дифрактограмм. Из этого следует, что приповерхностный слой (с большим количеством Nb_5Ge_3 фазы) расплавился и вследствие быстрого охлаждения стал аморфным. Эксперименты указали на целесообразность однократных облучений образцов электронным пучком, т.к. оплавление его поверхности происходит с образованием аморфного слоя. Аналогичные результаты получены в экспериментах по лазерному облучению материалов [9,10] и по электронному облучению кремния [4]. При этом не совсем понятен механизм взаимодействия электронного пучка с материалом образца и поэтому проведенные эксперименты расцениваются как предварительные.

Для всех исследуемых образцов измерялась критическая температура T_K . Результаты измерений показали, что только у полностью рекристаллизованного слоя наблюдалось увеличение ширины перехода ΔT_K в сверхпроводящее состояние. По-видимому, это обусловлено реакцией Nb_3Ge с подложкой.

В заключение можно сделать следующие выводы:

В работе продемонстрирован метод обработки поверхности сверхпроводника оплавлением его поверхности с сохранением сверхпроводящих параметров импульсным электронным пучком.

Вследствие температурных условий отжига: температура плавления Nb_3Ge (1910°C) значительно выше температуры плавления подложки

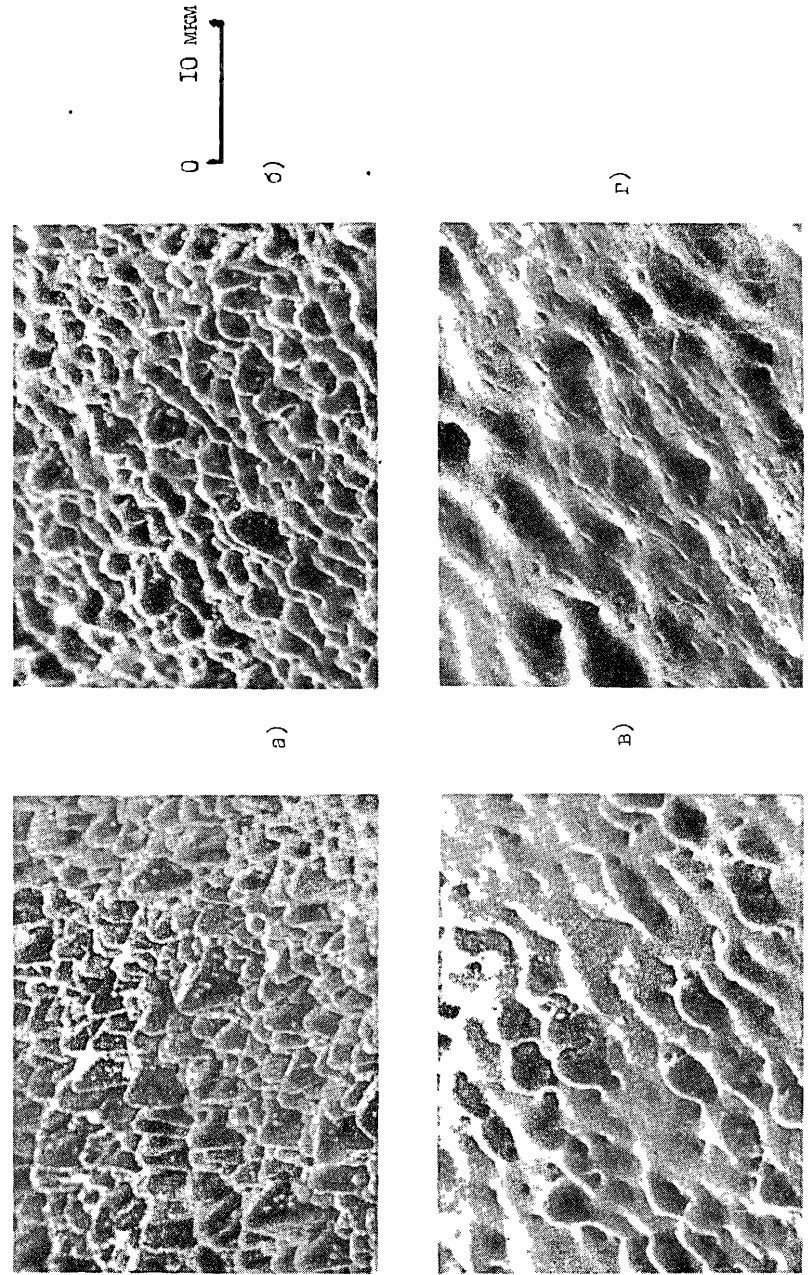


Рис.3. Фотография поверхности Nb_3Ge до облучения электронным пучком (а) и после облучения при плотностях тока пучка электронов $j = 400 \text{ A/cm}^2$ (б), $j = 600 \text{ A/cm}^2$ (в) и $j = 1000 \text{ A/cm}^2$ (г).

(1425°C), рассмотренный в данной работе метод импульсной обработки электронным пучком открывает новые возможности в тонкопленочной технологии. Однако для полномасштабного применения этого метода необходимы дополнительные эксперименты для понимания механизма взаимодействия электронного пучка с материалом образца.

Литература

1. Казовский Е.А., Каршев В.П., Шахтарин В.Н. Сверхпроводящие магнитные системы. "Наука", Ленинград, 1967.
2. Bussiere, J.F., Suenaga M. J. Appl. Phys., 1976, v.47, p. 707.
3. Bussiere J.F., Kovachev V.T. J. Appl. Phys., 1978, v.49, p. 2526.
4. Сильноточные электронные пучки в технологии. Под редакцией Г.А.Мясца. "Наука", Сибирское отделение, Новосибирск, 1983.
5. Коренев С.А. Сообщение ОИЯИ 9-81-753, Дубна, 1981.
6. Коренев С.А. и др. ПТЭ, 1985, №5, с. 190.
7. Cernusko V. e.a. J. de Physique, 1984, v.45, a1 -429.
8. Бычков Ю.И. и др. Инжекционная газовая электроника. "Наука", Сибирское отделение, Новосибирск, 1982.
9. Braginski A.A.I., Gaveler J.R., Kusnicki R.C. J. Appl. Phys. lett. 1981, v.39, p. 277.
10. Asano H., Nakomora K., Terada A. Jap. J. Appl. Phys., 1983, v. 22, p. 429.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 декабря 1986 года.

Вавра И., Коренев С.А.

P13-86-860

Обработка поверхности тонких пленок импульсным электронным пучком

Предложен и продемонстрирован метод обработки поверхности тонких пленок оплавлением его поверхности импульсным электронным пучком. Приведены результаты применения этого метода для пленочного образца из сверхпроводника со структурой A_{15}/Nb_3Ge . Показано, что результаты обработки, существенно улучшая структуру поверхности, не ухудшают сверхпроводящих параметров пленки. Приведены результаты дифракционного анализа образцов.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод авторов

Vavra I., Korenev S.A.

P13-86-860

Thin Films Surfaces Treatment by the Pulse Electron Beam

A method of thin film surface treatment by the pulse electron beam fusion is proposed and demonstrated in the paper. The results of the method for the film model of the superconductor structure $A_{15}(Nb_3Ge)$ are given. It is shown that the treatment results, sufficiently improving the surface structure, don't make worse the film superconductor parameters. The results of the film diffraction analysis are given too.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986