

# Влияние специальных окисных покрытий на эмиссионные свойства рабочей поверхности ускоряющих резонаторов

В.М.Ефремов, Е.В.Заручейский, И.А.Звонарев, О.В.Матвеева,  
С.М.Пестерев, Л.М.Севрюкова

*Отраслевая проблемная лаборатория технологии и исследования  
сверхпроводящих резонаторов при ИФВЭ, Протвино, Россия*

## Введение

Использование ВЧ-сверхпроводимости в ускорительной технике требует, чтобы сверхпроводящие резонаторы (СПР) имели добротность порядка  $10^{10}$  при  $E_{yск} = 5 - 40$  МВ/м. Величина  $E_{yск}$  определяет стоимость постройки ускорителя, для снижения которой необходимо увеличение  $E_{yск}$ , чего можно добиться за счет снижения эмиссионных эффектов и увеличения порога Квэнча (термомагнитной неустойчивости сверхпроводящего состояния).

Существуют разные методы снижения эмиссионных эффектов [1-4] и увеличения порога Квэнча [5,6]. Один из них — диэлектрическое покрытие на металлической поверхности, например анодная пленка  $Nb_2O_5$  на ниобии.

Цель доклада — показать влияние окисного покрытия  $Nb_2O_5$  на эмиссионные свойства рабочей поверхности СПР, а также на электрофизические параметры ускоряющих резонаторов.

## 1. Оптимизация процесса анодного оксидирования СПР

В литературе имеются противоречивые данные относительно влияния анодных окисных пленок на параметры ускоряющих СПР. Нами получена математическая модель процесса анодного оксидирования [1], проведена многофакторная оптимизация процесса, получен оптимальный режим [2], обеспечивающий минимальные эмиссионные токи [5]:

$$10^3 T(x) = 0,01X_1^2 + 31X_1X_2 + 1400X_1X_3 + 1,5X_1X_4 + 500X_1X_5 - 215X_1 + 23X_2^2 - 222X_2X_3 + 25X_2X_4 + 184X_2X_5 - 130X_2 - 412X_3^2 - 128X_3X_4 - 688X_3X_5 - 129X_3 + 5,5X_4^2 + 130X_4X_5 - 66X_4 + 440X_5^2 - 623X_5 + 282,$$

где  $X_1$  — напряжения формирования пленки,  $X_2$  — плотность тока анодирования,  $X_3$  — концентрация электролита,  $X_4$  — температура электролита,  $X_5$  — время выдержки при напряжении формирования.

$$X_1 = 30 \text{ В}, \quad X_2 = 1,59 \text{ мА/см}^2, \quad X_3 = 1,2 \text{ Н}, \quad X_4 = 10, 2^\circ\text{С}, \quad X_5 = 2,3 \text{ ч}.$$

Особенности процесса анодного оксидирования резонаторов описаны в [5], где указано, что для получения минимальных эмиссионных токов необходимо обеспечить минимальное содержание примесей из электролита и максимальную плотность окисной пленки. Важно, что в нашем случае оптимальный режим анодного оксидирования

лежит в области стабильных механических напряжений, что исключает возможность образования трещин в пленке и возникновение дополнительных потерь за счет фоновой генерации [5].

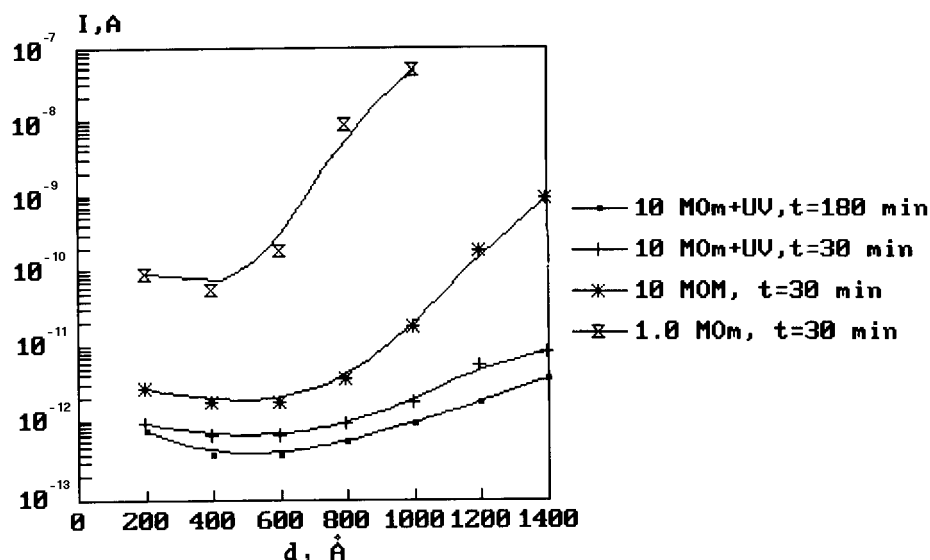


Рис. 1: Зависимость эмиссионных темновых токов от толщины окисной пленки, полученной по оптимальному режиму и условий подготовки СПР к сборке.

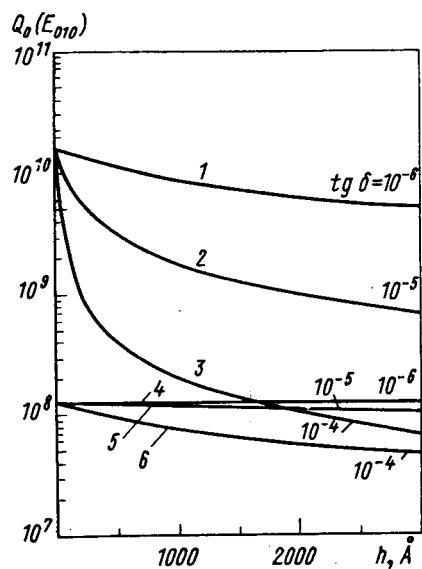


Рис. 2: Зависимость добротности СПР от толщины окисного покрытия при работе на малом уровне мощности.

## 2. Влияние окисных барьеров на эмиссионные свойства рабочей поверхности ниобиевых СПР

Экспериментально изучено влияние различных условий после нанесения пленки по оптимальному режиму на эмиссионные свойства рабочей поверхности СПР.

На рис.1 показана зависимость эмиссионных темновых токов от толщин пленки  $Nb_2O_5$  при различных условиях промывки перед сборкой СПР. Из рисунка видно, что во всех случаях минимальные тепловые токи соответствуют толщине пленки  $Nb_2O_5$  от 480 до 520  $\text{Å}$ .

Наряду с экспериментом проведен теоретический расчет влияния окисной пленки на добротность СПР при частоте 3ГГц.

Из рис.2 видно, что максимальная добротность при работе резонатора на малом уровне мощности близка к расчетной при толщине пленки около 500  $\text{Å}$ .

При расчете влияния покрытия  $Nb_2O_5$  на добротность СПР "TESLA-Shape" [7] исследовано следующее: расчет туннельных ВЧ-токов через систему  $Nb - Nb_2O_5$ -вакуум, расчет эмиссионной нагрузки СПР, расчет потерь в диэлектрическом покрытии, рассеяние СВЧ-мощности в стенках СПР. При этом использованы программы SUPERFISH, URMEL-T, PRUDO.

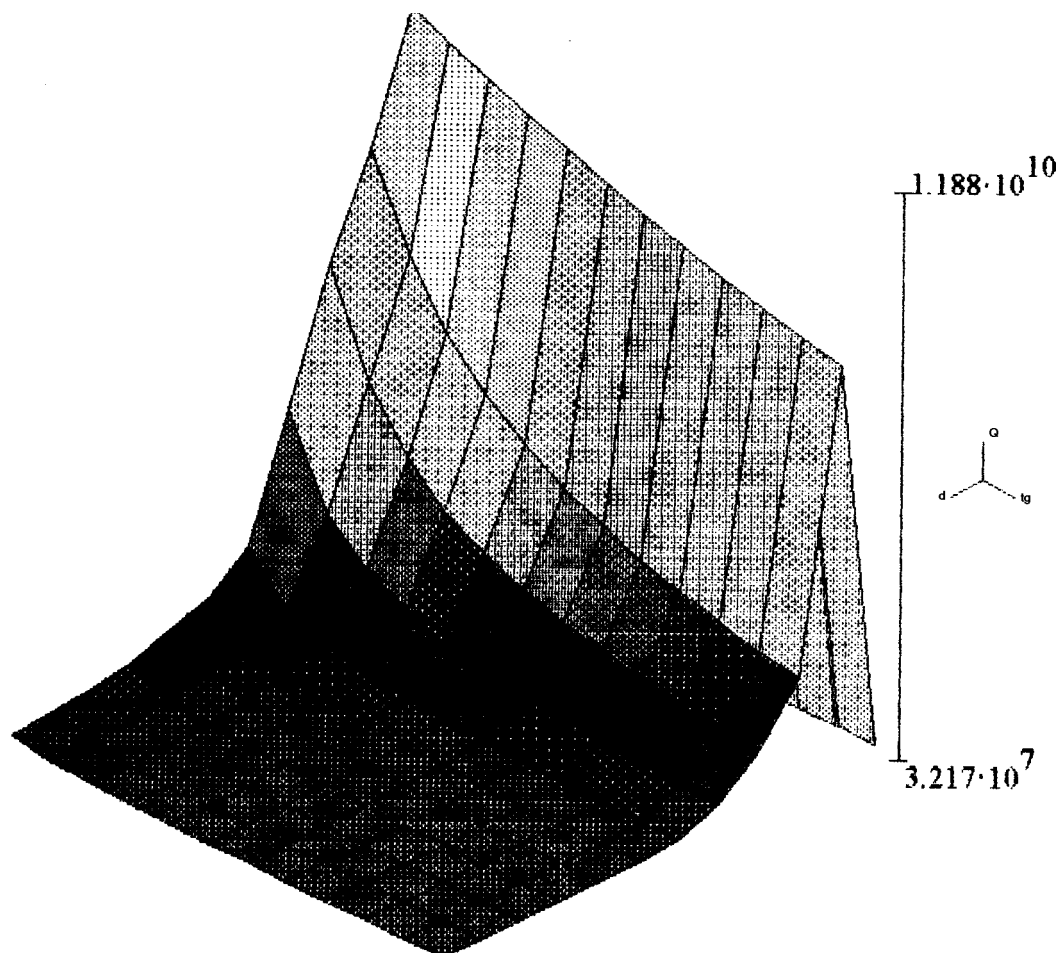


Рис. 3: Зависимость добротности СПР от толщины окисного покрытия и его  $tg\delta$  при  $E_{yck}=10$  МВ/м.

Из рис.3 видно, что максимальная добротность при  $E_{y_{ск.}} = 10$  МВ/м получена при толщине диэлектрического покрытия, также соответствующей оптимальному режиму, в диапазоне 480-520 А°.

## Заключение

Исследование влияния окисных пленок на электрофизические параметры СПР еще не закончено. Мы намерены изучить влияние окисных барьеров на другие виды эмиссии (вторичная [7], автоэмиссия [8], акустическая [4], экзоэлектронная [9]), что представляет несомненный интерес для фундаментальных исследований.

## Список литературы

1. А.Н.Диденко, М.В.Мельников, А.К.Какабадзе, Л.М.Севрюкова, Г.Р.Мухина, С.М.Пестерев. Сверхпроводящий высокочастотный резонатор. – Авторские свидетельства №699 682 от 12.01.1979, №791 191 от 10.07.1979. №43, 1979, с.240.
2. А.Н.Диденко, Л.М.Севрюкова, А.А.Ятис. Сверхпроводящие ускоряющие СВЧ-структуры. М., Энергоатомиздат, 1981, 209 с.
3. V.M.Efremov, L.M.Sevryukova, M.Hein, L.Ponto. Improved Method for Electrochemical Polishing of Niobium Superconducting Cavities. – Proc. of the 5-th Workshop on RF Superconductivity. DESY, Hamburg, Germany, Aug. 19-23, 1991, v.1, p.433-456.
4. Л.М.Севрюкова, В.М.Ефремов. Способ обработки сверхпроводящего резонатора. – Авторское свидетельство 1 410 790, БИ №46, 1990 с.233.
5. А.М.Коротков, С.М.Пестерев, Л.М.Севрюкова. Feasibilities of the Methods of Anode Oxipolishing and Anodization in the Technology of Superconducting Cavities. – Proc. of the 6-th Workshop on RF Superconductivity. CEBAF, Newport News. USA, v.2, p.809-837.
6. Л.М.Севрюкова, А.М.Коротков. Способ обработки ниобиевого сверхпроводника для высокочастотных применений. – Авторское свидетельство №1 064 819 от 16.12.1981.
7. О.В.Матвеева, С.М.Пестерев, Л.М.Севрюкова, Ю.С.Шаповалов. Особенности конструкции и возможности стенда измерения параметров вторичной эмиссии. – Труды научно-технической конференции "Вакуумная наука и техника" – Гурзуф, 1995, с. 63.
8. V.Efremov, O.Matveeva, S.Pesterev, L.Sevryukova, E.Zarycheisky. I.Zvonarev, A.Ushakov. Field Emission Properties of the Nb with Thin Oxide Films. – Proc. of the 10-th International Conference on Thin Films. Salamanca, Spain, Sept., 25-27, 1996 (to be published).
9. О.В.Матвеева, Л.М.Севрюкова, Н.В.Татарина. Акустическая и экзоэлектронная эмиссии – методы технологического контроля сверхпроводящих резонаторов на основе Nb/Si. – Труды XIV Международной конференции по ускорителям заряженных частиц. ИФВЭ, Протвино, окт., 1994, т.1, с. 137-141.