

ДЕСОРБЦИЯ ИОНОВ С ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА ПРИ ИНДУЦИРОВАНИИ ИМПУЛЬСА СКИН-ТОКА

© М.В.Мишин, О.Ю.Цыбин

Безынерционная десорбция пакета ионов или нейтральных атомных частиц наблюдалась при пропускании короткого импульса тока по металлическим образцам, поперечные размеры которых соизмеримы с глубиной скин-слоя (например, обзор [1]). Это явление относится, по-видимому, к фундаментальным физическим процессам на поверхности твердого тела в вакууме и имеет значительные перспективы прикладных применений. Однако недостаточность сведений не позволяет построить соответствующие физические представления и технические решения. Не определены, в частности, энергетические, динамические и масс-спектральные характеристики потока частиц, эффекты соотношений размеров, наиболее важные для анализа процессов. Интерпретация результатов экспериментов затруднена из-за неопределенности условий их проведения (неоднородности электрических и температурных полей, геометрии образцов, возможности плазмообразования на сильноточных вакуумных вводах и т. п.).

Целью данной работы явилось получение новой физической технической информации о процессах короткоимпульсной десорбции в условиях более совершенного эксперимента.

Основу методики составили индуцирование импульса скин-тока на развитой гладкой поверхности металлического эмиттера (и в слое адсорбата на ней) и регистрация формируемых ионных потоков времяпролетным масс-анализатором. Размеры площади поверхности образцов, изготовленных из медной фольги, составляли $D_0 \sim 1 \text{ см}^2$, а толщина пластинок ($S_0 \sim 30\text{--}500 \text{ мкм}$) значительно превышала глубину скин-слоя δ , $S_0 \gg \delta$. Это позволило устранить основные недостатки, присущие более ранним экспериментам. Создавалась возможность более широкого изучения характеристики явления. В ускоряющем ионы зазоре длиной 20–50 мм между эмиттером и входной диафрагмой времяпролетного анализатора создавалось импульсное или постоянное электрическое поле E_0 напряженностью $\leq 10^4 \text{ В/см}$. Ускоренные до энергии eU_0 ионы поступали на вход трубы дрейфа, а затем на вторично-

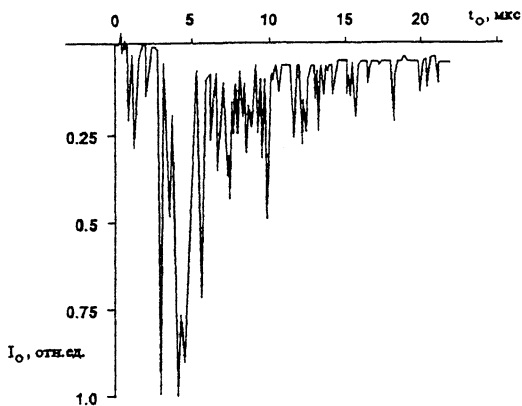


Рис. 1. Фрагмент типичной масс-спектрограммы (зависимость амплитуды сигналов ионных пакетов от времени), измеренной при $U_0 = +20$ кВ.

эмиссионный умножитель. Сигналы регистрировались на выходе вторично-эмиссионного умножителя в виде набора пиков, задержанных относительно импульса скин-тока генератора (ГИТ) на время пролета ионов в канале дрейфа. Эти сигналы поступали на вход цифрового запоминающего осциллографа С9-8 и одновременно записывались в память IBM-совместимого компьютера. Импульс скин-тока длительностью $T \cong 150$ нс, формируемый ГИТ, имел амплитуду порядка $10^2 - 10^4$ А, длительность переднего фронта менее 50 нс в режимах единичных или периодически повторяющихся импульсов. Расчетные значения скачка температуры эмиттера в целом за время одного импульса не превышали единиц градусов.

Прибор во время работы подвергался непрерывной безмасляной откачке до давления $10^{-7} - 10^{-8}$ Тор.

В случае, если амплитуда импульса скин-тока была ниже порогового значения I_0 , $I < I_0$, а на ускоряющем зазоре создавалось постоянное или импульсное напряжение $U_0 \leq 1 - 25$ кВ, темновые токи отсутствовали. При превышении указанных пороговых значений амплитуд токов каждый импульс электромагнитного возбуждения поверхности эмиттера (при наличии напряжения U_0 положительной или отрицательной полярности) порождал широкий, продолжительностью до $t_s \cong 100$ мкс, набор пиков. Каждый пик имел длительность $\sim 100 - 300$ нс, близкую к длительности T импульса тока ГИТ.

Фрагмент масс-спектрограммы сигналов представлен на рис. 1. Подобные результаты, полученные в широком интервале изменения условий эксперимента, составили базу

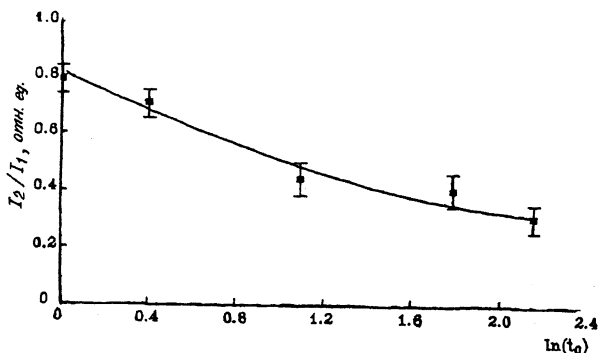


Рис. 2. Типичная зависимость отношений интегральных амплитуд легкой (I_1) и тяжелой (I_2) компонент от длительности паузы t_0 (в относительных единицах, соответствующих расчетному времени накопления монослоя), измеренной при $U_0 = +20$ кВ.

данных для статистического анализа. Было установлено, что измеряемые сигналы обусловлены десорбированными положительными или отрицательными атомными и многоатомными ионами, значения масс которых находились в интервале от единиц до 10^4 а.е.м. и более. Исследования зависимостей интенсивности эмиссии ионов от времени показали, что эмиссия ионов происходила практически безынерционно, только во время действия импульса скин-тока. В масс-спектре можно было выделить относительно легкую ($M \leq 100$ а.е.м.) и тяжелую компоненты, интегральные интенсивности которых различным образом зависели от длительности паузы t_0 между импульсами. На рис. 2 показана зависимость отношений интегральных амплитуд легкой (I_1) и тяжелой (I_2) компонент от длительности паузы t_0 . Легкая компонента "накапливалась" быстрее, а тяжелая — медленнее. Часть ионных пиков в спектре соответствовала частицам, отношения значений масс которых составляли целочисленные ряды. Амплитуды этих сигналов приблизительно экспоненциально спадали в зависимости от значений масс частиц от более легких к более тяжелым. Процессы десорбции и ионизации частиц оказались весьма мягкими, без существенной фрагментации. Не исключена также возможность приповерхностного синтеза частиц на этапе их эмиссии. Механизм безынерционной короткоимпульсной десорбции частиц на данном этапе можно связать, по-видимому, с совокупностью физических процессов, включающей разогрев электронного газа в скин-слое у поверхности массивного эмиттера при воздействии индуцированного электрического поля, рассеяние электронов на атомах решетки и адсорбата, туннельную ионизацию десор-

бированных частиц. Неравновесное нестационарное состояние электронного газа и фононов может быть обусловлено тем, что из-за высокой скорости роста скин-тока энергия, передаваемая электронному газу, превышала энергию, рассеиваемую в то же время электронами на фононах.

В данной работе впервые осуществлено исследование десорбции ионов с гладкой массивной металлической поверхности при ее скин-токовом электромагнитном возбуждении. Проведен анализ характеристик получаемого импульсного потока частиц с помощью времяпролетной масс-спектрометрии. Обнаружена эмиссия положительных и отрицательных ионов, имеющих широкий спектр масс. Установлены: безынерционность процесса, т. е. совпадение времени скин-токового возбуждения поверхности и времени эмиссии частиц; низкий уровень фрагментации крупных частиц; малое размытие ионных пакетов, длительность которых сохраняется близкой к длительности скин-тока за время их дрейфа. Показано, что данный вид эмиссии частиц может быть осуществлен в условиях малых начальных позиционных и энергетических разбросов в ансамбле частиц. Полученные данные полезны для развития представлений о фундаментальных физических процессах, происходящих в вакууме на поверхности твердого тела при адсорбции и десорбции частиц, для диагностики состояния поверхности, развития технологии микроэлектроники и совершенствования электронно-вакуумных приборов, а также для создания источников коротких пакетов атомных и многоатомных нейтральных и заряженных частиц, например, для целей масс-спектрометрии.

Список литературы

- [1] *Цыбин О.Ю.* Проблемы физической электроники. Сб. науч. тр. СПб.: ФТИ АН, 1989. С. 94–118.

Поступило в Редакцию
20 декабря 1995 г.