

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ИОНОВ С ЭНЕРГИЯМИ ДО 40 КЭВ

Н. В. Мамедов, В. А. Курнаев

Приведено краткое описание модернизированной установки для исследования взаимодействия ионов с поверхностью. Главный ионный канал, реализованный на “Большом масс-монохроматоре МИФИ” с диапазоном энергий ионов 1–40 кэВ, позволяет получать ионные пучки с $(EM/Z) \leq 4000$ кэВ \times а.т.и. Это позволяет при работе с ионами водорода средних энергий получить информацию о толщине слоя из атомов, отличающихся по массе от атомов подложки, анализируя спектры энергии протонов, рассеянных от двухслойной (или трехслойной) мишени. Применение новых цифровых блоков питания и разработанных к ним программ управления позволяет также автоматизировать управление ионным пучком и дает возможность проводить ионно-пучковые эксперименты по заранее разработанным программам облучения.

Ключевые слова: LEIS, MEIS, ионные пучки, взаимодействие ионов с т.т., взаимодействие плазмы с поверхностью, масс-спектрометрия.

В современных термоядерных установках существует проблема первой стенки. При взаимодействии плазмы с материалом первой стенки происходит ее разрушение, загрязнение плазмы и захват трития. Исследование элементарных процессов, сопровождающих взаимодействие плазмы с поверхностью, может быть осуществлено с использованием небольших лабораторных стендов, позволяющих проводить эксперименты с хорошо определенными параметрами, например, при облучении пучком частиц с выделенными

Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”.
Каширское ш., 31, Москва 115409, Россия, e-mail: m_nikitos@mail.ru

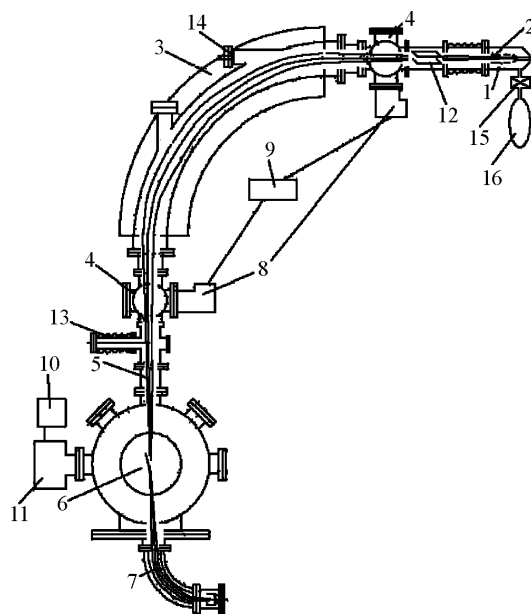


Рис. 1: Принципиальная схема модернизированной установки “БММ” МИФИ: 1 – дуоплазматрон, 2 – электростатическая линза, 3 – сепарирующий электромагнит, 4 – вакуумная камера дифференциальной откачки, 5 – пролетный шибер, 6 – мишень, 7 – электростатический энергоанализатор, 8 – турбомолекулярные насосы Pfeiffer TMU 071, 9, 10 – форвакуумные насосы Varian SH-100, 11 – турбомолекулярный насос TMH 1500, 12 – отклоняющие в вертикальной плоскости пучок пластины, 13 – зонд для измерения профиля пучка, 14 – пластина для измерения суммарного по массам тока пучка, 15 – натекатель, 16 – баллон с рабочим газом.

массой и энергией. Кроме того, на этих установках можно реализовывать различные исследовательские методики, предоставляющие информацию о свойстве поверхности.

В данной работе приведено описание экспериментального комплекса БММ МИФИ, позволяющего реализовать различные методики исследования поверхности, в том числе спектроскопию рассеяния медленных ионов – LEIS и спектроскопию рассеяния ионов средней энергии – MEIS [1].

Благодаря модернизации вакуумной системы установки с заменой на современные средства откачки и измерения вакуума уровень активных примесей был снижен как минимум на 3 порядка, до 10^{-8} Па. Установлены новые насосы – турбомолекулярные Pfeiffer TMU 071 и безмасляные спиральные форвакуумные Varian SH-10; заменены фланцы поворотной камеры на новые, удовлетворяющие современному общепринятому стандарту CONFLAT. Камера взаимодействия установлена на специальной юстировоч-

ной платформе и отсоединяется от основного ионного канала прогреваемым шибером (с медным уплотнением Cf40). Тем самым камера взаимодействия представляет собой автономный объем, к которому возможно подсоединять дополнительные источники (каналы) облучения и диагностики. Все эти изменения позволяют проводить эксперименты в намного более чистых условиях, чем до реконструкции установки.

Применение новых цифровых блоков питания и разработанных к ним программ управления позволяет также автоматизировать управление ионным пучком и дает возможность проводить ионно-пучковые эксперименты по заранее разработанным программам облучения. При этом может проводиться программируемое изменение параметров разряда и накала катода, а также управление фокусирующей системой и системой отклонения ионного пучка.

В итоге, проведенная модернизация переводит установку БММ в класс современных компьютерно-управляемых электрофизических установок с широким диапазоном возможностей для проведения облучения материалов различными газовыми ионами в диапазоне $(EM/Z) \leq 4000$ кэВ \times а.е.м. с энергиями до 40 кэВ.

Принципиальная схема основного ионного канала модернизированной установки показана на рис. 1.

Полученные характеристики:

- Разрешение системы масс-сепарации не хуже 1.3%.
- Максимальный ток (на ионах He^+ при энергии 5 кэВ) на мишени – $I = 0.4$ мкА, при плотности тока $j = 10$ мкА/см².
- Полученное остаточное давление в ионном тракте после длительной откачки (без прогрева) $6 \cdot 10^{-9}$ Торр.
- При работе с гелием основной примесью является водород.

Энергетическое разрешение электростатического четвертьсферического энергоанализатора с радиусом центральной траектории 250 мм составляет 0.3 – 0.5%.

С помощью описанной установки можно проводить различные исследования поверхности:

- структурный анализ [2, 3],
- неразрушающий анализ [3],
- компонентный анализ [2].

При этом при использовании LEIS методики мы получим:

- монослойное разрешение,
- чувствительность к первому слою атомов,

– возможность наблюдения за динамикой описанных параметров [4].

При работе с ионами водорода средних энергий, анализируя энергетические спектры протонов, рассеянных от двухслойной (или трехслойной) мишени, возможно получить информацию о толщине слоя из атомов, отличающихся по массе от атомов подложки. Например, анализ энергетических спектров отраженных ионов D^+ с первичной энергией 40 кэВ позволяют измерять на вольфрамовой подложке слои углерода толщиной до 0.3 мкм [5].

Установка также позволяет проводить анализ газоразрядной плазмы в источнике. Благодаря высокой разрешающей способности и чувствительности анализирующей аппаратуры возможно наблюдать эффекты потерь энергии, диссоциации и изменения зарядовых состояний при взаимодействии ионного пучка с газовыми и фольговыми мишенями. Применение фольгового конвертера с последующим энергетическим анализом фрагментов молекулярных ионов, диссоциированных при прохождении фольги, позволяет также проводить прецизионный анализ состава ионных пучков с примерно одинаковым отношением массы к заряду, например, N_2^+ и CO^+ или HD^+ и $^3He^+$ в динамическом диапазоне интенсивностей различных компонентов до 10^{13} .

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] В. А. Курнаев, Е. С. Машкова, В. А. Молчанов, *Отражение легких ионов от поверхности твердого тела* (М., Энергоатомиздат, 1985).
- [2] Hidde H. Brongersma, Anja Gildenpfennig, Arnoud W. Denier van der Gon, et al., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, **190**(1–4), 11 (2002).
- [3] O. M. N. D. Teodoro and A. M. C. Moutinho, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* **222**(3-4), 609 (2004).
- [4] D. O. Boerma, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* **183**(1–2), 73 (2001).
- [5] V. A. Kurnaev and N. N. Trifonov, *Physica Scripta* **103**, 85 (2003).

По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара “Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики”, Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.

Поступила в редакцию 23 марта 2010 г.