

Программа 3.5.8. Теплофизические основы плазмохимической конверсии энергетических сред (координатор член-корр. РАН М. Р. Предтеченский)

В Институте теплофизики им. С. С. Кутаедадзе выявлен механизм скейлинга по импульсу скоростей ионов при абляции материалов ультракороткими лазерными импульсами. Абляция является перспективным методом получения пучков быстрых ионов. Распределения по скоростям эмитируемых ионов дают важную информацию о механизмах абляции. Однако наблюдаемые скорости ионов зачастую не согласуются с имеющимися представлениями о механизмах эмиссии. Для объяснения этих противоречий разработана модель ускорения ионов в электрическом поле, существующем определенное время (~100 пс) вблизи поверхности вследствие фотоэлектронной эмиссии, индуцированной лазерным импульсом. Данный механизм ускорения имеет общий характер и не зависит от конкретного механизма

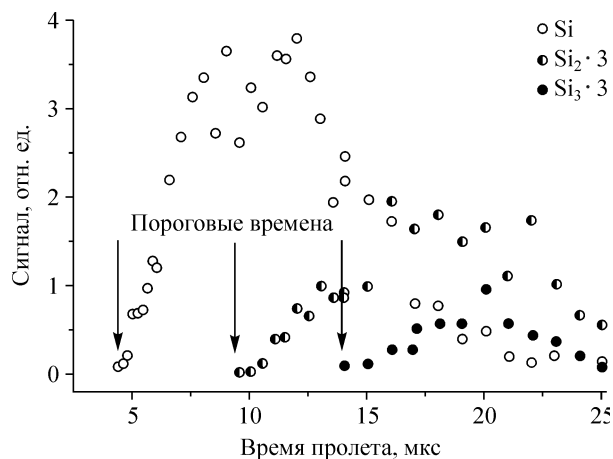


Рис. 41. Времяпролетные распределения ионов Si_n^+ , эмитируемых с поверхности кремния, облучаемого фемтосекундными лазерными импульсами (100 фс, 800 нм, 154 мДж/см²). Стрелками показаны пороговые значения времен пролета, соответствующие максимальным скоростям ионов.

эмиссии. На основе дрейфово-диффузионного подхода выполнено моделирование лазерной зарядки поверхности, позволившее оценить мгновенные значения электрических полей, характерные времена их существования и максимальные скорости эмитируемых ионов. Модель предсказывает скейлинг скоростей ионов разных масс по их импульсу при низких интенсивностях излучения, а также зависимость величины скорости от размера пятна облучения. Для проверки модели проведены масс-спектрометрические исследования эмиссии заряженных кластеров при облучении кремния фемтосекундными лазерными импульсами. На основе времяпролетных измерений определены максимальные скорости кластеров разных размеров, которые с хорошей точностью масштабируются по импульсу кластеров (рис. 41). Измеренные значения скоростей в зависимости от интенсивности излучения хорошо согласуются с результатами расчетов по модели. Предложенный механизм и разработанная для его описания модель позволяют объяснить казавшиеся противоречивыми результаты по эмиссии ионов при фемтосекундной лазерной абляции. Результаты важны для разработки лазерных источников быстрых ионов и прецизионного структурирования материалов ультракороткими лазерными импульсами низкой интенсивности.

В том же Институте разработан модельный сильноточный плавильный плазматрон на гелии. В технологическом процессе плавления титана и получения слитков используются плавильные плазматроны с цилиндрическим электродом — анодом и формирующим соплом, работающие на гелии. К ним предъявляются жесткие требования по расходу гелия (до 3 м³/мин.), току дугового разряда (3000 А),

мощности (1200 кВт) и длительности работы (не менее 100 ч). Главное из них — устойчивая и непрерывная эксплуатация плазменных устройств в длительном режиме. Для решения этой проблемы проведены исследования газодинамических, энергетических и эрозионных характеристик модельного плавильного плазмотрона (эксперименты выполнены на стенде ИТПМ СО РАН). В результате впервые получены формулы для расчета напряжения дуги гелиевого плазмотрона и для определения расхода газа при длительной работе электрода в зависимости от тока дуги. На рис. 42 для примера приведена ВАХ дуги на участке электрод—сопло. Установлено влияние добавки к расходу гелия ~1 мас.% аргона и регулятора расхода газа для расширения зоны выработки электрода и повышения ресурса плазмотрона. Анализ системы охлаждения наружной поверхности трубчатого электрода показал необходимость применения кольцевых углублений для турбулизации потока воды.

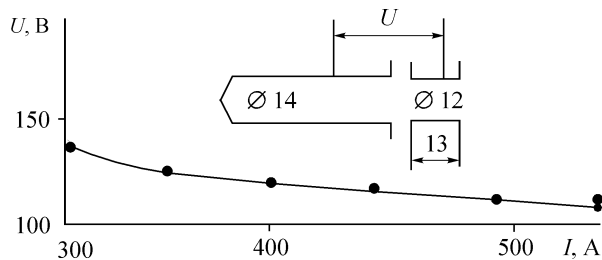


Рис. 42. Зависимость напряжения на участке дуги анод—сопло от тока при расходе гелия 1,5 г/с.

Результаты исследований использованы для проектирования и изготовления промышленного плавильного плазмотрона (ОАО «Сиб-электротерм») для действующей электропечи (ВСМПО — АВИСМА). Разработанный плазмотрон испытан в производственных условиях и показал требуемые параметры при токе 2300—2700 А, расходе газа до 2,75 м³/мин. и длительности работы 138 ч.