

Характеристики плазми компактного індукційного ВЧ джерела з системою постійних магнітів

В.М. Слободян, В.Ф. Вірко, Ю.В. Вірко, Г.С. Кириченко, К.П. Шамрай

Інститут ядерних досліджень НАН України

Проведено дослідження мод розряду, характеристик плазми та витікаючого іонного потоку в компактному індукційному джерелі з магнітним полем, створюваним системою постійних магнітів. Розрядна камера довжиною та діаметром 8 см збуджувалась плоскою чотиривитковою антеною діаметром 6 см, що живилась від джерела частотою 13,56 МГц та потужністю до 1 кВт. Магнітна система представляла собою радіально намагнічену циліндричну збірку постійних феритів.

Показано, що процес ініціювання та підтримання розряду залежить як від величини магнітного поля, так і, в більшій мірі, від положення системи постійних магнітів відносно збуджуючої антени. Найбільш сприятливі умови виявились при розміщенні перерізу з нульовим значенням магнітного поля в площині локалізації антени.

Виконано вимірювання просторового розподілу характеристик плазми у витікаючому потоці на відстанях 2,5 та 25 см від виходу джерела для розрядів в Ar, Kr та Xe. Встановлено, що на осі системи температура електронів за тиску 4 мТорр складає 6–7 еВ (для Kr та Xe вона, як правило, на 0,5–1 еВ менше, ніж для Ar), а на відстані 2–5 см від осі – приблизно 2 еВ для всіх газів. Для радіальних профілів плаваючого потенціалу V_f у плазмі, яка виходить з джерела, характерний дуже гострий мінімум на осі (на виході з джерела значно глибший, ніж на відстані 25 см), де значення V_f негативні. Мінімум радіального розподілу плаваючого потенціалу поглиблюється із зростанням допоміжного магнітного поля, створюваного електромагнітом, пониженням тиску та зменшенням атомної маси робочого газу (до –60 В для Ar, –45 В для Kr та –40 В для Xe). Дані вимірювань другої похідної зондового струму вказують на те, що електронна компонента плазми, яка надходить безпосередньо з джерела, містить немасквелівську високоенергетичну складову. Електрони в тіні вихідної апертури джерела (ймовірно, вторинної плазми), мають максвелівський розподіл за енергіями.

Встановлено наявність в потоці витікаючої плазми високого рівня ВЧ магнітних полів, поляризація та діаграма спрямованості яких на різних радіальних відстанях свідчать про присутність інтенсивної геліконної хвилі. Просторова структура цієї хвилі визначається переважно умовами в розрядній камері.

Проведено дослідження спектру енергій іонів в поздовжньому напрямку на відстані 30 см від виходу з джерела для розряду в Ar. Встановлено, що іони мають характерний широкий розподіл за енергіями (до 50 еВ), а гранична енергія збільшується при зменшенні тиску робочого газу.

Встановлено, що загальна величина іонного струму на великий (діаметром 15 см) торцевий електрод на відстані 30 см від виходу джерела може досягати 1,5 А при ВЧ потужності 750 Вт та наявності допоміжного магнітного поля, що робить досліджувану систему привабливою для практичних застосувань.