Механизмы управления рабочими характеристиками ВЧ технологических источников плазмы путем изменения внешних параметров разряда

А.Ф. Александров, К.В. Вавилин, Е.А. Кралькина, П.А. Неклюдова, В.Б. Павлов

Физический фаультет МГУ им.М.В. Ломоносова, Москва 119991 ГСП-1, Воробьевы горы, д.1., стр.2, [nekludova\_pa@mail.ru](mailto:nekludova_pa@mail.ru)

В настоящее время большое практическое значение приобретают задачи управления параметрами плазмы и организации режимов горения ВЧ разряда, оптимальных для плазменных технологических процессов, таких как поверхностная модификация материалов, осаждение покрытий, травление подложек и т.д. Ключевую роль в указанных технологических процессах играют энергетическое распределение электронов, величина плотности плазмы и ее пространственное распределение. В связи с этим в настоящей работе были проведены систематические исследования указанных характеристик плазмы при изменении внешних параметров разряда: давления рабочего газа, рабочей частоты и мощности ВЧ генератора, величины и конфигурации магнитного поля, формы индуктора. На основании математического моделирования проанализирована роль емкостной составляющей разряда.

В экспериментах использовался кварцевый цилиндрический источник плазмы (ИП) диаметром 46см и высотой 30см. Индуктивный ВЧ разряд возбуждался спиральной антенной, расположенной на боковой поверхности ИП, и планарной антенной, расположенной на верхнем фланце ИП. Антенны соединялись через систему согласования с ВЧ генераторами с рабочей частотой 2, 4 или 13.56МГц. Два электромагнита, расположенные вблизи верхнего и нижнего фланцев, создавали в объеме источника магнитное поле с индукцией 0 – 6мТл. В качестве рабочего газа использовались гелий, неон, аргон и криптон в диапазоне давлений 0.1 – 500мТор, ВЧ мощность генератора изменялась от 100 до 500Вт.

Экспериментальные исследования индуктивного ВЧ разряда показали, что при увеличении давления инертных газов в диапазоне 0.1 – 500мТор концентрация электронов в индуктивном ВЧ разряде проходит через максимум, а эффективная температура электронов проходит через минимум. В области давлений 0.1 – 10мТор наибольшую концентрацию электронов можно получить при работе на частоте 2МГц, в области давлений, превышающих 100мТор, наибольшая концентрация плазмы наблюдается при работе на частоте 13.56МГц. Расчеты показали, что указанная частотная зависимость связана с емкостной составляющей разряда.

Рост давления рабочего газа приводит к существенным изменениям пространственного распределения плотности плазмы. При низких давлениях плазма относительно равномерна в пространстве. Рост давления сначала приводит к росту и локализации максимума электронной плотности *ne* в центральных частях источника плазмы, затем смещению максимумов *ne* к области локализации скин-слоя. Это связано с переходом от режима «свободного полета» электронов к диффузионному режиму, от нелокального режима ввода ВЧ мощности к локальному.

Наложение внешнего магнитного поля при низких давлениях рабочих газов приводит к существенному изменению пространственного распределения плазмы в связи с переходом от нелокального режима ввода ВЧ мощности к локальному. Существенным фактором, влияющим на величину и пространственное распределение плотности плазмы, являются условия, при которых происходит возбуждение связанных геликонных и косых Ленгмюровских волн.