стационарный резонансный разряд в потоке газа как источник жесткого ультрафиолетового излучения

И.С. Абрамов, С.В. Голубев, Е.Д. Господчиков, А.Г. Шалашов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия, ags@appl.sci-nnov.ru

В работе докладываются результаты теоретического исследования механизмов формирования стационарного сильнонеравновесного разряда в потоке газа мощным миллиметровым излучением с целью поиска новых эффективных способов получения жесткого ультрафиолетового излучения (экстремальный ультрафиолет). Предложена газодинамическая модель, описывающая особенности формирования неравновесного разряда в потоках нейтрального газа и плазмы в условиях локализованного в пространстве резонансного нагрева электронной компоненты и интенсивных радиационных потерь энергии за счет возбуждения многократно ионизированных ионов. Рассматриваются различные способы согласования неравновесной плазмы с поддерживающим разряд электромагнитным излучением. В зависимости от плотности плазмы и наличия внешнего магнитного поля, канализующего поток плазмы, поглощение сверхвысокочастотного излучения происходит в условиях электронно-циклотронного, верхнего гибридного или плазменного резонанса. Обсуждаются условия возникновения и устойчивого горения таких разрядов, возможность и условия образования многозарядных ионов и способы максимальной пространственной локализации области радиационных потерь. Найдены интересные для приложений режимы, в которых по мере движения потока плазмы за счет ступенчатой ионизации электронным ударом последовательно повышается заряд ионов, соответственно, спектр их линейчатого излучения смещается в область экстремального ультрафиолета. Одновременно увеличивается и доля радиационных потерь, так что, начиная с некоторого расстояния вдоль оси потока, значительная доля вложенной в разряд энергии расходуется на излучение, а доля потерь идущих на ионизацию падает. Обсуждается возможность использования контролируемого резонансного энерговклада для реализации оптимального пространственного распределения ионов по зарядовым числам, обеспечивающего максимум излучения плазмы в некотором необходимом спектральном диапазоне (например, 13.5 нм для проекционной литографии высокого разрешения).

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (грант № 13-02-01132-а) и Совета по грантам при президенте Российской Федерации для поддержки молодых ученых.