Источник ЭУФ излучения на основе стационарного СВЧ разряда   
в потоке многозарядной плазмы переменного сечения

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

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

Развитие литографии высокого разрешения требует мощных и надежных источников экстремального ультрафиолетового (ЭУФ)  излучения [1]. Одним из наиболее востребованных является ЭУФ излучение на длине волны 13.5 нм ± 1%. Данная спектральная полоса соответствует пиковым коэффициентам отражения Mo/Si многослойных зеркал и является признанным технологическим стандартом. В то же время такое излучение может эффективно генерироваться ионами некоторых элементов, такими как Sn7+ - Sn12+ и Xe9+ - Xe11+, имеющими значительное количество линий излучения   
в указанном диапазоне.

Среди различных способов получения многозарядных ионов в существующих источниках излучения в основном используется лазерная плазма. Наиболее продвинутые проекты предложены ASML Cymer [2] и Gigaphoton [3]. В установках обеих компаний излучающая в ЭУФ диапазоне плазма достигается в результате испарения небольшой оловянной капли в сфокусированном пучке CO2 лазера. Полученная плазма характеризуется суммарным выходом ЭУФ излучения порядка 250 Вт и эффективностью конверсии в 4 – 5 %. Хотя на данный момент описанный подход является наиболее успешным из реализованных в мире способом генерации ЭУФ, он обладает рядом недостатков, связанных с работой в импульсном (порядка 10 нс) режиме сопряженном со взрывом капли рабочего вещества, что способствует повреждению окружающей оптики его остатками, а также «быстрыми» ионами, ускоренными излучением лазера.

Альтернативный подход был предложен в Институте прикладной физики РАН и продемонстрирован в экспериментах [4, 5]. Подход предполагает использование СВЧ-разряда в плазме многозарядных ионов олова, распространяющейся в открытой магнитной ловушке. В рамках доклада будет представлена теоретическая модель, учитывающая основные особенности источника ЭУФ излучения данного типа, и результаты моделирования разряда в широком диапазоне параметров плазмы и удерживающей магнитной конфигурации [6].

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-02-00173).

Литература.

1. Wagner C., Harned N. EUV lithography: Lithography gets extreme //Nature Photonics. – 2010. – Т. 4. – №. 1. – С. 24-26.
2. Schafgans A. A. et al. Performance optimization of MOPA pre-pulse LPP light source //SPIE Advanced Lithography. – International Society for Optics and Photonics. – 2015. – С. 94220B-94220B-11.
3. Mizoguchi H. et al. Performance of 250W high power HVM LPP-EUV source// Proc. of SPIE. – 2017. – T. 10143, – C. 101431J-1.
4. Vodopyanov A. V. et al. Extreme-ultraviolet source based on the electron-cyclotron-resonance discharge //JETP letters. – 2008. – Т. 88. – №. 2. – С. 95-98.
5. Chkhalo N. I. et al. Source for extreme ultraviolet lithography based on plasma sustained by millimeter-wave gyrotron radiation //Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS. – 2012. – Т. 11. – №. 2. – С. 021123-1-021123-7.
6. Abramov I. S., Gospodchikov E. D., Shalashov A. G. Prospects of extreme ultraviolet radiation sources based on microwave discharge for high-resolution lithography //Physics of Plasmas. – 2017. – T. 24, C. 073511.