Стационарный поток плотной замагниченной плазмы с многозарядными ионами как источник ЭУФ излучения [[1]](#footnote-1)\*)

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

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия, [abramov@ipfran.ru](mailto:abramov@ipfran.ru)

Литография в экстремальном ультрафиолете (ЭУФ) является передовой технологией производства интегральных схем, обеспечивающей возможность перехода к схемам с проектными нормами менее 7 нм [1]. При экспонировании в данной технологии применяется ЭУФ излучение в узких спектральных диапазонах (13,5 нм ±1%, 11,2 нм ±1% и пр.), соответствующих пикам коэффициентов отражения многослойных зеркал. Для его генерации используется линейчатое излучение ионов высокой кратности.

В действующих ЭУФ-литографах необходимое излучение генерируется плазмой многозарядных ионов, создаваемой при испарении капли олова импульсным лазерным излучением [2]. Такие источники генерируют ЭУФ излучение мощностью 250 Вт в полосе 13,5 нм ±1%, чего, в целом, достаточно для промышленного производства интегральных схем [3]. Тем не менее, чтобы производительность ЭУФ-литографии не уступала литографам предыдущего поколения, требуется разработка более мощных источников [1, 2]. Также, как показывают исследования в области химии фоторезиста, при экспонировании излучением большей мощности возможно существенное уменьшение шероховатости края экспонируемых линий, что важно для движения к меньшим проектным нормам [4].

В качестве источника мощного ЭУФ излучения в ИПФ РАН было предложено использовать поток замагниченной плазмы электронно-циклотронного резонансного (ЭЦР) разряда, поддерживаемого излучением гиротрона, ведутся соответствующие экспериментальные и теоретические исследования [5–8]. В ЭЦР разряде за счет эффективного энерговклада в электронную компоненту создаются благоприятные условия для генерации многозарядных ионов и возбуждения их линий электронным ударом. Гиротроны обладают бóльшей средней мощностью, чем лазеры, используемые в существующих источниках ЭУФ излучения [9]. При этом излучение современных субтерагерцевых гиротронов способно проникать в довольно плотную плазму (до 1016 см–3), позволяя рассчитывать на генерацию мощного ЭУФ излучения компактным плазменным образованием (размеры порядка 1 мм), что выгодно с точки зрения фокусировки [3].

В настоящей работе представлена гидродинамическая модель стационарного течения плотной замагниченной плазмы многозарядных ионов с учетом последовательной ионизации электронным ударом, баланса импульса электронов и ионов, переноса тепла от локализованного источника (зоны ЭЦР) за счет нелинейной электронной теплопроводности, потерь энергии на ионизацию и линейчатое излучение ионов. Выполнено моделирование течений плазмы олова и ксенона. Произведен поиск режимов течения, оптимальных с точки зрения генерации целевого ЭУФ излучения.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-22-00270).

Литература

1. Fu Nan et al., J. Microelectron. Manuf., 2019, 2, 19020202.
2. Mayer P. et al., Proc. of SPIE, 2021, 11609, 1160918.
3. Bakshi V. (ed.), *EUV Sources for lithography*, Bellingham, WA: SPIE Press, 2006, 1057 p.
4. Luo Yandong, Gupta P., Proc. SPIE, 2018, 10588, 105880O.
5. Голубев С.В. и др., Письма в ЖТФ, 1994, 20, 7-11.
6. Водопьянов А.В. и др., Письма в ЖЭТФ, 2008, 88, 103-106.
7. Chkhalo N.I. et al., J. Micro/Nanolithogr. MEMS, and MOEMS, 2012, 11, 021123.
8. Abramov I.S. et al., Phys. Plasmas, 2017, 24, 073511.
9. Thumm. M., J. Infrared Millim. Terahertz Waves, 2020, 41, 1-140.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/Lt/en/FG-Abramov_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)