

ГЕНЕРАТОР МИШЕНЕЙ ИЗ ТВЕРДОГО КСЕНОНА ДЛЯ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА EUV ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ НАНОЛИТОГРАФИИ ^{*)}

¹Коробко Д.Д., ¹Черноизюмская Т.В., ¹Сергеев В.Ю., ¹Шаров И.А., ¹Капралов В.Г.,
¹Карасев П.А., ²Буторин П.С., ²Калмыков С.Г., ²Сасин М.Э.

¹Санкт-петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия

²Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия,
korobko.dd@edu.spbstu.ru

Благодаря технологии фотолитографии за 50 с лишним лет развития полупроводниковой промышленности удалось уменьшить нормы технологического процесса с 3 мкм до 10 – 20 нм. Дальнейшее уменьшение норм техпроцесса для удовлетворения нужд современной микроэлектроники планируется вести средствами нанолитографии в глубоком ультрафиолете (EUVL – Extreme Ultraviolet Litography). В настоящий момент для получения экстремального ультрафиолетового излучения в литографах используются лазерно-плазменные источники излучения с мишенью в виде капель Sn и с длиной волны $\lambda = 13,5$ нм. Для такого излучения применяются оптические системы из многослойных Si/Mo зеркал.

Существенный недостаток EUV-литографов с оловянной мишенью – малый ресурс работы дорогостоящих оптических элементов вследствие быстрого загрязнения оловом. Попытки решить эту проблему значительно удорожают систему, но не приводят к успеху [1].

В качестве альтернативы мишени из Sn рассматривается вариант газоструйной мишени из Хе с длиной волны излучения $\lambda = 11,2$ нм. В этом спектральном диапазоне в оптической системе Ве-содержащие многослойные интерференционные зеркала [2]. В проведенных в ФТИ им. А.Ф. Иоффе исследованиях такого источника продемонстрирована достаточно высокая эффективность конверсии лазерного импульса в EUV излучение $\text{CE} = 4\%$ [3]. Однако при этом сопло, из которого истекает Хе, находится на расстоянии ~ 1 мм от области, в которой должен гореть лазерно-плазменный факел. Это приводит к быстрой деградации сопла.

Авторы настоящего доклада предлагают использовать в качестве мишени эшелон пеллет из твёрдого Хе. Это устраняет проблему сопла, расположенного в нескольких миллиметрах от лазерной плазмы. Струя жидкого ксенона в генераторе пеллет-мишеней распадается на капли в результате развития поверхностной неустойчивости Плато-Рэлея. Охлаждение образованных капель в результате испарения материала с их поверхности приводит к их переходу в твёрдое состояние. Таким образом формируется поток твёрдых частиц, движущихся друг за другом. Возможность формирования эшелона пеллет с параметрами, близкими к требуемым в литографе, была успешно продемонстрирована для жидкого водорода [4] и для Хе [5]. В докладе представлены результаты расчётных и экспериментальных работ по созданию стенда генератора мишеней.

Работа поддержана ГК Росатом и Минобрнауки России в рамках Федерального проекта 3 (U3), проект № FSEG-2023-0018 «Разработка и создание систем струйной и пеллет инжекции с повышенными производительностью и ресурсом».

Литература

- [1]. I. Fomenkov, D. Brandt, A. Ershov, et al. // Adv. Opt. Tech. 6 (2017), No. 3-4, 173.
- [2]. S.A. Bogachev, N.I. Chkhalo, S.V. Kuzin, et al. // Appl. Opt. 55 (2016), No. 9, 2126.
- [3]. S.G. Kalmykov, P.S. Butorin, M.E. Sasin. Xe laser-plasma EUV radiation source with a wavelength near 11nm—Optimization and conversion efficiency // J. Appl. Phys. 2019. 126, 103301; doi: 10.1063/1.5115785.
- [4]. C.A. Foster, K. Kim, R.J. Turnbull and C.D. Hendricks. Apparatus for producing uniform solid spheres of hydrogen. Review of Scientific Instruments 48, 625 (1977); doi: 10.1063/1.1135095.
- [5]. EUV Sources for Lithography, ed. V. Bakshi (SPIE Press, Bellingham, WA, 2005), chpt. 19.

^{*)} [DOI – тезисы на английском](#)