

**Федеральная целевая программа**  
**«Исследования и разработки по приоритетным**  
**направлениям развития научно-технологического**  
**комплекса России на 2014—2020 годы»**

**Соглашение**

**14.579.21.0004 от 05.06.2014**

**на период 2014 - 2016 гг.**

**Тема: Разработка актинического источника  
излучения для инспекции наноструктур в  
области нано и микроэлектроники**

**Руководитель проекта: Виноходов А.Ю.**

**Руководитель проектов ООО "ЭУФ Лабс"**

**Индустрия наносистем**

# Участники проекта



**Получатель субсидии:** ООО «ЭУФ Лабс» – инжиниринговая компания, которая занимается математическим моделированием и технологическими разработками в области промышленной нанолитографии и нанодиагностики, в том числе, разрабатывает источники экстремального ультрафиолетового (ЭУФ) излучения.

Ключевым международным партнером компании является один из крупнейших производителей фотолитографических систем для микроэлектронной промышленности – компания ASML (Нидерланды).

Компания объединяет 50 высококвалифицированных специалистов в указанных областях, среди которых 7 докторов наук и 15 кандидатов наук.

«ЭУФ Лабс» имеет положительный опыт реализации научно-технических проектов (5 за последние 5 лет) для зарубежных и российских заказчиков, в том числе в рамках ФЦП.

## **Индустриальный партнёр:**



Нанотехнологический центр «ТехноСпарк» осуществляет поддержку и развитие высокотехнологической инфраструктуры для инновационных компаний и коммерциализацию научных разработок в сфере нанотехнологий.

Индустриальный партнер обеспечивает закупку импортного оборудования, необходимого для проведения исследований по теме проекта.

# Цели и задачи проекта

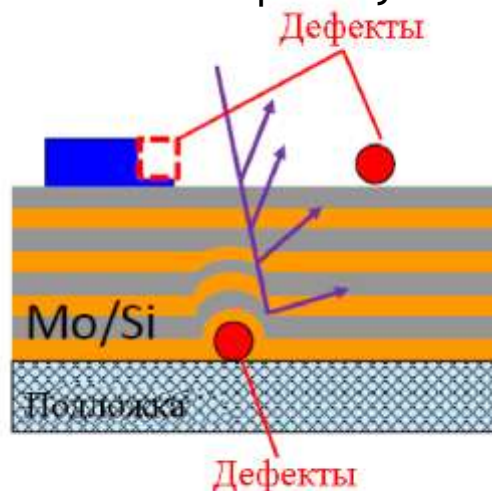
**Цель проекта** - проведение экспериментальных исследований источников коротковолнового излучения на основе лазерной плазмы. Разработка прототипа промышленного актинического высокояркостного источника с длиной волны излучения 13.5 нм, предназначенного для оптической инспекции наноструктур в области нано- и микроэлектроники.

Современная проекционная литография, позволяющая создавать структуры с размерами элементов менее десятков нанометров при производстве интегральных схем – одна из наиболее широко применяемых в настоящее время нанотехнологий. С её помощью организован выпуск современных процессоров нового поколения.

Высокая стоимость анализа и повышенная чувствительность структур к воздействиям приводят к смещению подхода от анализа готовой продукции к анализу масок, используемых в литографии.

# Цели и задачи проекта

Маски для литографии имеют подложку с многослойным зеркальным покрытием, отражающим на нужной длине волны поверхность которого наносится топологический рисунок из материала, поглощающего излучение



Возможные дефекты:

- дефекты на подложке
- дефекты в многослойном отражающем покрытии
- дефекты на топологическом рисунке

Для производства одной микросхемы требуется набор из 20-60 масок. Одна ошибка при изготовлении маски может стоить несколько миллионов долларов.

Отсутствие инструментов для инспекции масок в настоящее время, является одним из сдерживающих факторов развития ЭУФ литографии.

# Цели и задачи проекта

Разработка актинического источника излучения требует решения следующих первостепенных задач

- Исследование физических процессов, определяющих получение высокотемпературной лазерной плазмы с требуемыми параметрами.
- Исследование физических явлений, возникающих при импульсно-периодическом режиме ввода энергии с высокой частотой следования импульсов и его влияния на излучательные характеристики плазмы.
- Исследование физических условий, обеспечивающих энергетическую и пространственную стабильность излучающей плазмы.
- Исследование методов, минимизирующих образование и разлет загрязняющих плазменных продуктов.
- Исследование методов получения стабильных параметров рабочего вещества (мишени).
- Проектирование и разработка актинического высокояркостного источника экстремального ультрафиолетового (ЭУФ) излучения, предназначенного для инспекции наноструктур.
- Изготовление и проведение испытаний актинического источника излучения для инспекции наноструктур в области нано- и микроэлектроники.

# Ожидаемые результаты проекта

- Создание экспериментального стенда для исследования ЭУФ источников на основе лазерной плазмы жидкометаллических мишеней
- Определение условий получения лазерной плазмы малого ( $< \varnothing, 3$  мм) размера, высокоэффективно ( $CE_{13,5} \sim 2\%$ ) излучающей в спектральном диапазоне  $13.5 \pm 0.135$  нм, отвечающем максимуму отражения многослойных Mo/Si зеркал
- Достижение в этом спектральном диапазоне яркости излучения  $B_{13,5}$  не менее  $200$  Вт/мм<sup>2</sup> ср в соответствии с требованиями к источникам для актинической инспекции ЭУФ масок
- Определение физических условий, обеспечивающих энергетическую и пространственную стабильность ЭУФ источника
- Разработка методов, минимизирующих образование и разлет загрязняющих плазменных продуктов
- Создание, исследование и испытания лабораторного образца высокояркостного актинического ЭУФ источника по разработанным Программе и методикам

# Перспективы практического использования

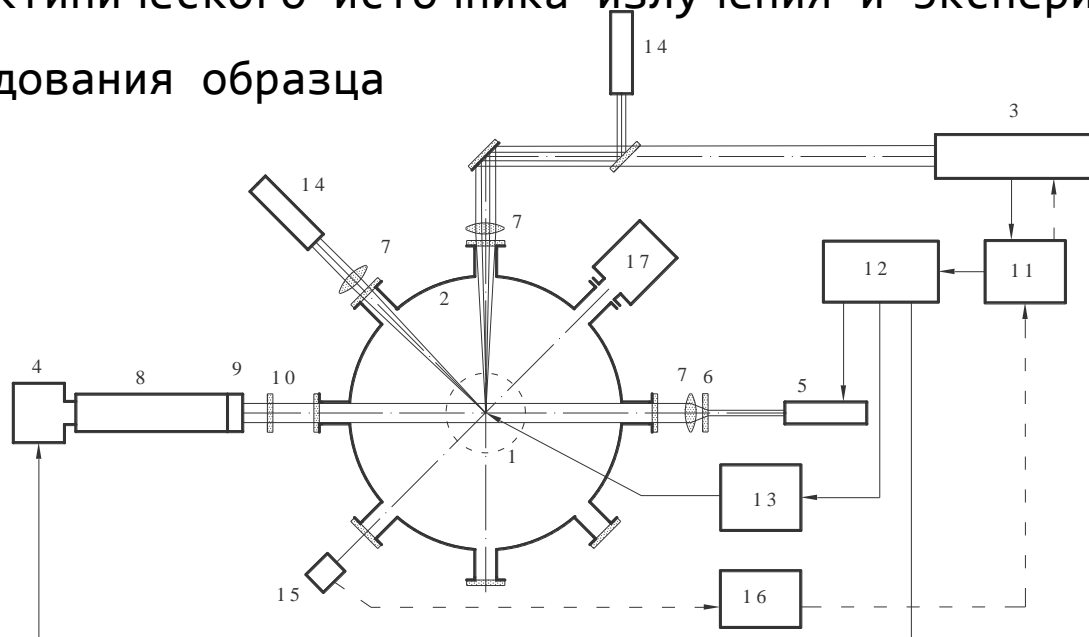
Результаты НИР будут являться фундаментом для дальнейших технологических разработок, востребованных на рынке ЭУФ продукции:

- методы и аппаратные комплексы диагностики масок в ЭУФ литографических машинах
- методы и аппаратные комплексы диагностики загрязнения кремниевых пластин в ЭУФ литографических машинах
- метрологическое оборудование для ЭУФ технологии
- разработка основ компонентной базы для ЭУФ литографии с длиной волны 13.5 нм

По минимальным оценкам рынок ЭУФ масок к **2020** году оценивается в **500** млн. долларов

# Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

- По разработанной технической документации изготовлены лабораторный образец актинического источника излучения и экспериментальный стенд для исследования образца



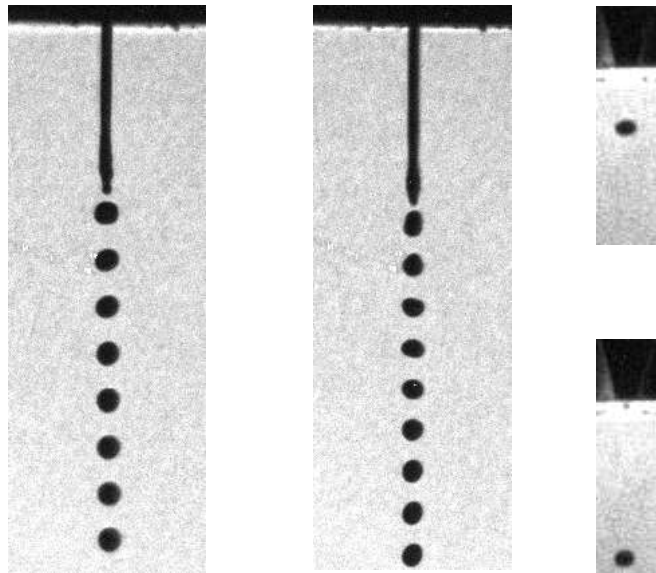
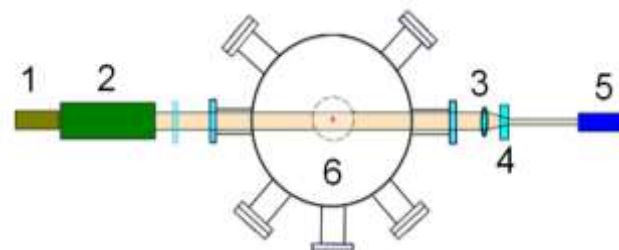
1-генератор капель, 2- вакуумная камера, 3- лазер, 4- CCD видеочамера, 5- просвечивающий диодный лазер, 6- оптический диффузор, 7- фокусирующие линзы, 8-микроскоп, 9-объектив, 10-узкополосный фильтр, 11-генератор задержек, 12- делитель частоты, 13- блок управления генератора капель, 14- непрерывные лазеры видимого диапазона, 15- фотодиод с трансимпедансным усилителем, 16- детектор максимума сигнала, 17- цилиндр Фарадея.



# Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

- Проведены экспериментальные исследования систем, узлов и элементов лабораторного образца актинического источника излучения

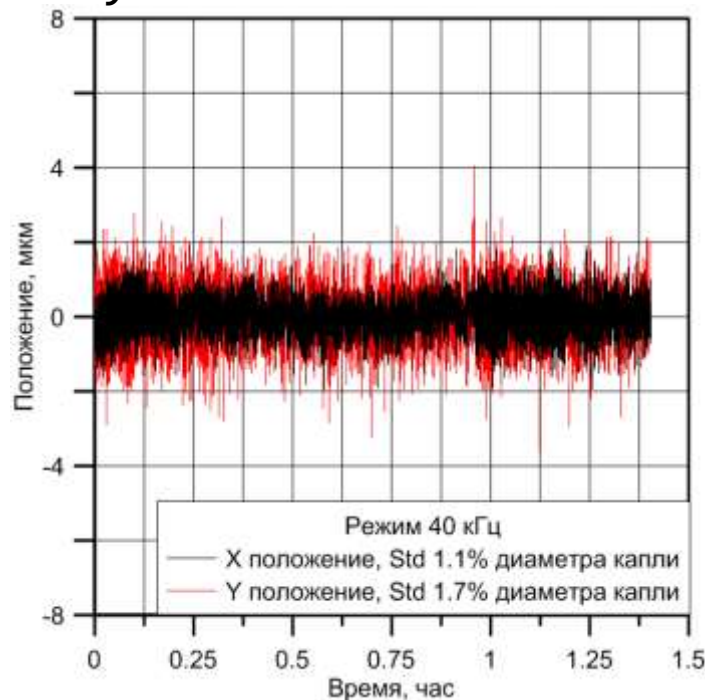
Схема визуализации каплей, вид сверху. 1 – CCD камера; 2 – телескоп; 3 – линза; 4 – оптический диффузор; 5 – импульсный лазер



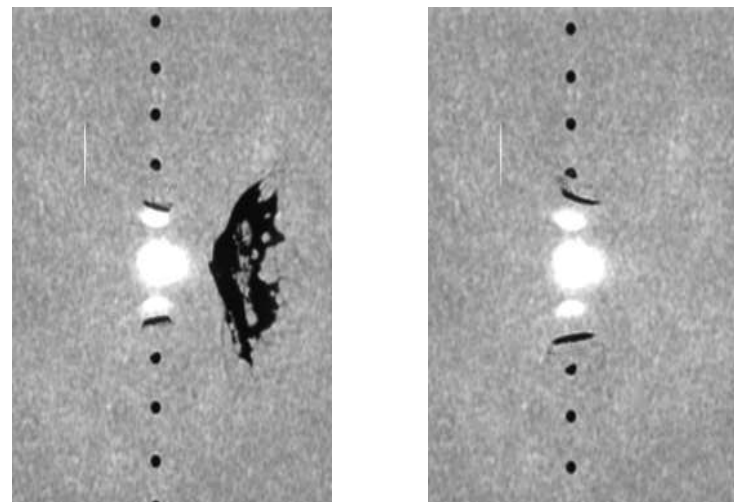
Теневые фотографии струи модулированной различными частотами (20, 30 кГц), капельного режима работы генератора и сопла

# Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

- Проведены экспериментальные исследования систем, узлов и элементов лабораторного образца актинового источника излучения



Демонстрация высокой пространственной стабильности положения капель (~1-2 мкм)

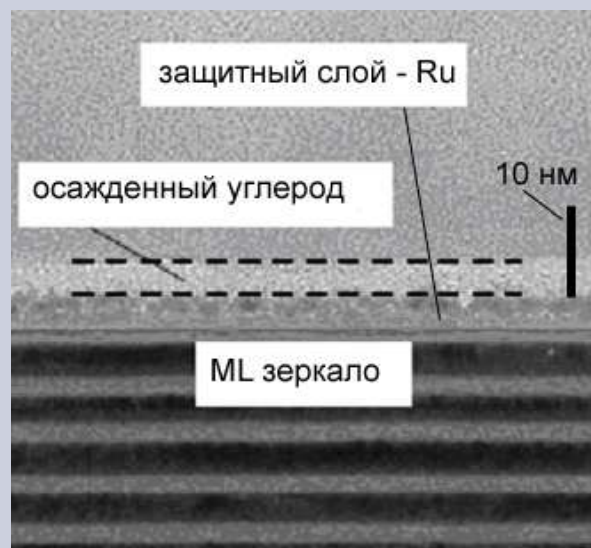


Разлет вещества мишени после воздействия лазерного импульса ( $10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup>), регистрируемый с различными задержками (2 и 4 мкс)

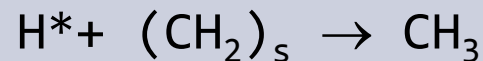
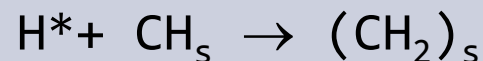
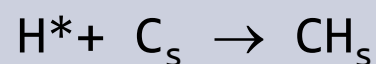
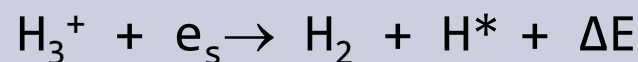
# Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

- Разработана методика решения проблемы загрязнения ЭУФ оптики, основанная на использовании ЭУФ индуцированной плазмы малой плотности

Изображение загрязненной поверхности зеркала



Реакция, характеризующая механизм очистки



Результаты полученные при разработке методики будут представлены в диссертационной работе

# Состояние выполнения запланированных индикаторов

Наименование индикатора	Единица измерения	Запланировано достигнуть	Фактически достигнуто
Объем привлеченных внебюджетных средств	Млн.руб	45	30
Число публикаций по результатам проекта в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus или в базе данных "Сеть науки" (WEB of Science)	Единиц	6	3
Число патентных заявок, поданных по результатам проекта	Единиц	3	1
Количество мероприятий по демонстрации и популяризации результатов и достижений науки	Единиц	3	1

**Спасибо за внимание!**

**Докладчик:**

Старший научный сотрудник,  
доктор физико-математических наук  
Христофоров Олег Борисович