

В МИЭТе по госконтракту разработают концепцию безмасочного фотолитографа — для выпуска микросхем 28 нанометров и ниже

30.03.2022

ZELENOGRAD.RU

Вслед за Зеленоградским наноцентром за разработку фотолитографа (степпера) для выпуска микросхем по современным проектным нормам взялся МИЭТ. По заказу Минпромторга за 670 миллионов рублей там будут разрабатывать концепцию безмасочного рентген-фотолитографа «на базе синхротронного и/или плазменного источника». Рассказываем подробно об этой разработке, которую, по мнению некоторых экспертов, надо было начинать лет пятнадцать назад.

Контракт для МИЭТа на 670 миллионов рублей

Речь идёт о проработке технологии для создания в будущем отечественной установки фотолитографии на базе экстремального ультрафиолетового (ЭУФ или EUV, упрощенно — рентгеновского) источника излучения с длиной волны менее 13,5 нм. Такие фотолитографы рассчитаны на достижение проектных норм вплоть до 10 нм и менее, сегодня их разрабатывает и производит в мире только одна компания — голландская ASMLithography.

У МИЭТа уже есть наработки в направлении безмасочной EUV-фотолитографии, в том числе исследования, проведённые совместно с другими отечественными научными институтами и группами учёных. В проекте будут задействованы также зеленоградская компания ЭСТО и зеленоградский синхротрон — ныне технологический накопительный комплекс (ТНК) «Зеленоград» НИЦ «Курчатовский институт».

«Создание технологии и оборудования на базе действующих и запускаемых в стране синхротронов, в частности, на синхротроне ТНК „Зеленоград“, а также на базе отечественных плазменных источников, позволит обрабатывать полупроводниковые пластины с проектными нормами 28 нм, 16 нм и ниже, — говорится в конкурсной документации с требованиями к этой научно-исследовательской работе (НИР). — Отечественные и мировые аналоги технологии безмасочной рентгеновской нанолитографии и разрабатываемого оборудования отсутствуют».

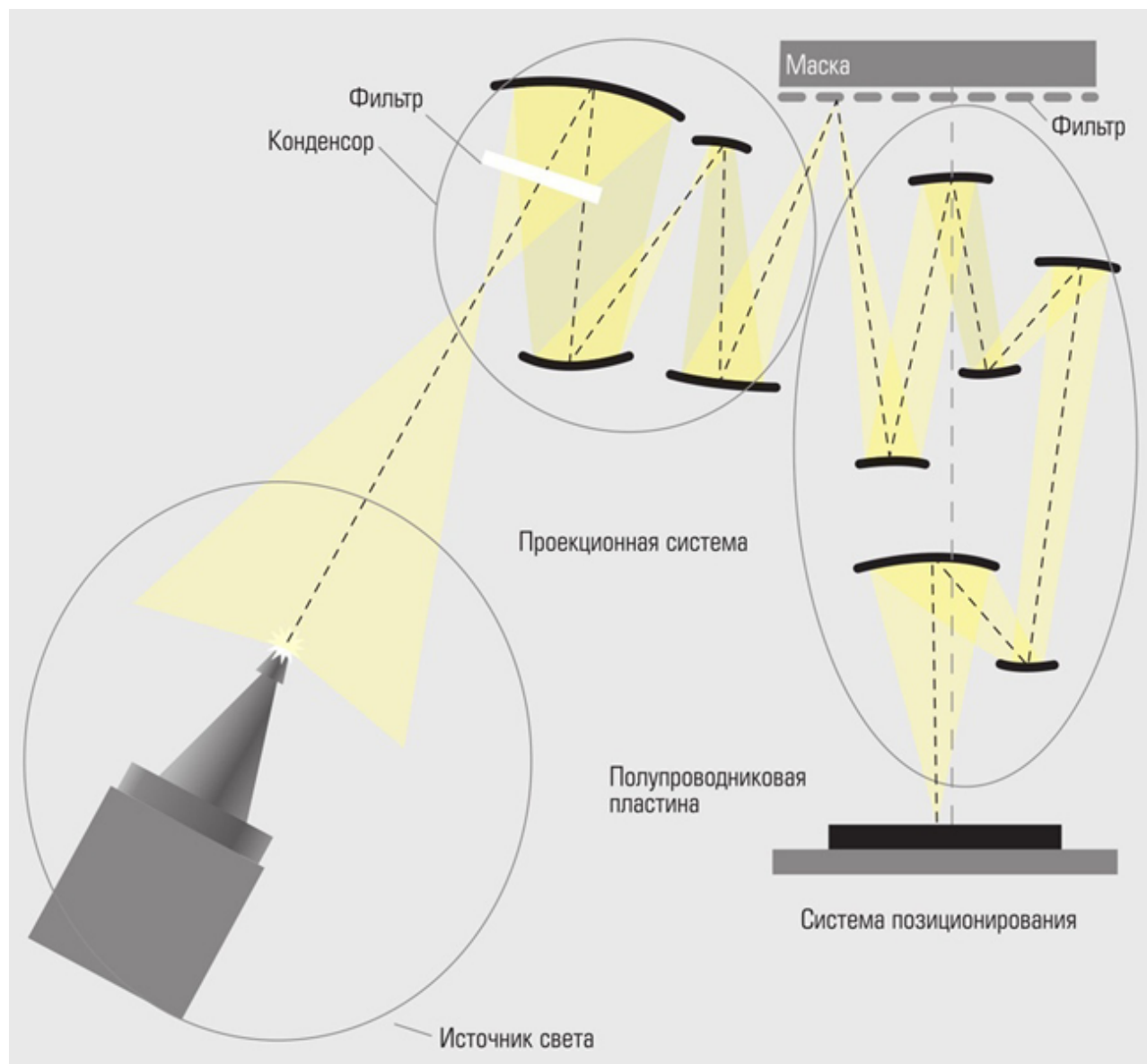
Цена контракта Минпромторга, заключённого с МИЭТом — 670 млн рублей.

«Речь о длительных НИР и ОКР, которые, по-хорошему, нужно было начинать лет пятнадцать назад», — считает автор публикации журнала «Стимул» об этом проекте Александр Механик.

Что такое фотолитография

Статья в «Стимуле» начинается с ликбеза: что такое фотолитография, каких типов она бывает, кто производит традиционные проекционные степперы (с источником света в ближней ультрафиолетовой области спектра и длиной волны 193 нм), какой диапазон проектных норм они позволяют реализовать (минимальные — 28-10 нм) и в каком ценовом диапазоне находятся: «Цена таких установок выросла за последние десятилетия с десятков тысяч долларов до 300 миллионов».

Современные фотолитографы следующего поколения, EUV-установки (extreme ultraviolet lithography — экстремальная ультрафиолетовая литография, или рентгеновская, на длине волны 13,5 нм), которые производит ASML, работают с проектными нормами менее 10 нм и стоят еще дороже.



Оптическая схема EUV-фотолитографа

ЖУРНАЛ "СТИМУЛ"

«В России в 2010-е годы тоже была начата разработка такого EUV-фотолитографа», — рассказывает «Стимул». Оптической системой, ее элементами и интерференционными покрытиями, созданием прототипа самой установки занимался коллектив разработчиков в Институте физики микроструктур (ИФМ) РАН (теперь это филиал Института прикладной физики РАН — ИПФ) в Нижнем Новгороде. Источник излучения разрабатывался в Институте спектроскопии (ИСАН) РАН в подмосковном Троицке. Разработчики предложили оригинальные решения конструкций источников излучения — отчасти они были применены и в самой голландской ASMLithography. Однако отечественный проект завершился на стадии

макета: «Страна не может потянуть эту работу в одиночку. Ведь Голландии фактически помогает весь мир», — признавал главный научный сотрудник ИФМ РАН, член-корреспондент РАН Николай Салащенко.

Глубокий НИР

В Центре коллективного пользования «Микросистемная техника и электронная компонентная база» МИЭТ (ЦКП «МСТ и ЭКБ»), который будет заниматься этим НИР, собираются воспользоваться результатами прошлой разработки в части высокоточной рентгеновской оптики, многослойных покрытий и источника излучения. Новый отечественный фотолитограф на 28 нм будет реализован на принципиально новых принципах безмасочной фотолитографии с использованием динамической маски на основе МЭМС (или, скорее, МОЭМС). Основы такого подхода ранее также были разработаны в ИФМ (ИПФ) РАН.

«Наш проект — это поисковая работа, не имеющая аналогов: никто в мире безмасочную литографию на таких принципах еще не делал», — отметил директор ЦКП «МСТ и ЭКБ» МИЭТ Николай Дюжев. Иными словами, это «глубокий НИР», как характеризует его «Стимул».

Решение взяться за такую разработку основано, по словам Дюжева, на нескольких проведенных в ЦКП предварительных исследований, в рамках которых были разработаны экспериментальные и теоретические основы и ключевые технологии, необходимые для создания EUV-фотолитографа. В частности, ЦКП участвовал в НИОКР «Разработка источника мягкого рентгеновского излучения на основе матрицы микрофокусных рентгеновских трубок для безмасочного литографа с разрешением лучше 10 нм» совместно с коллективом учёных ИМФ (ИПФ) РАН из Нижнего Новгорода.

Выбор в пользу безмасочной фотолитографии обусловлен тем, что проекционная фотолитография конкурентоспособна только при массовом производстве (десятки миллионов чипов в год) — из-за высокой стоимости оборудования, дороговизны масок, сложной и дорогостоящей инфраструктуры. Это делает технологию доступной только единичным глобальным игрокам, таким как Intel, Samsung, TSMC, Global Foundries.

Что сделают

Целью НИР, выполняемой ЦКП «МСТ и ЭКБ» МИЭТ, является экспериментальная проверка основных технологических решений в области безмасочной рентгеновской нанолитографии — изготовление и экспериментальное исследование макетов динамической маски на основе МОЭМС в двух вариантах: (1) с управлением коэффициентом отражения рентгеновского излучения, (2) с управлением коэффициентом пропускания рентгеновского излучения.

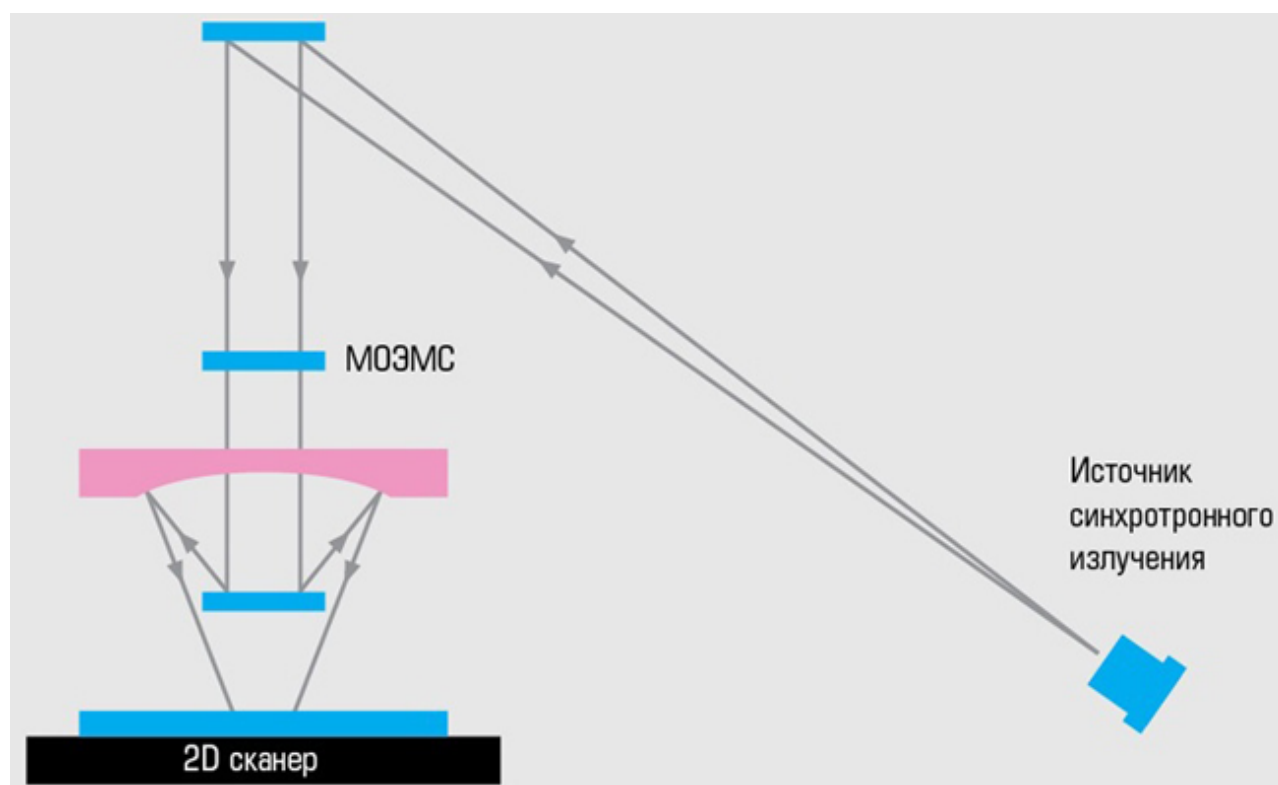
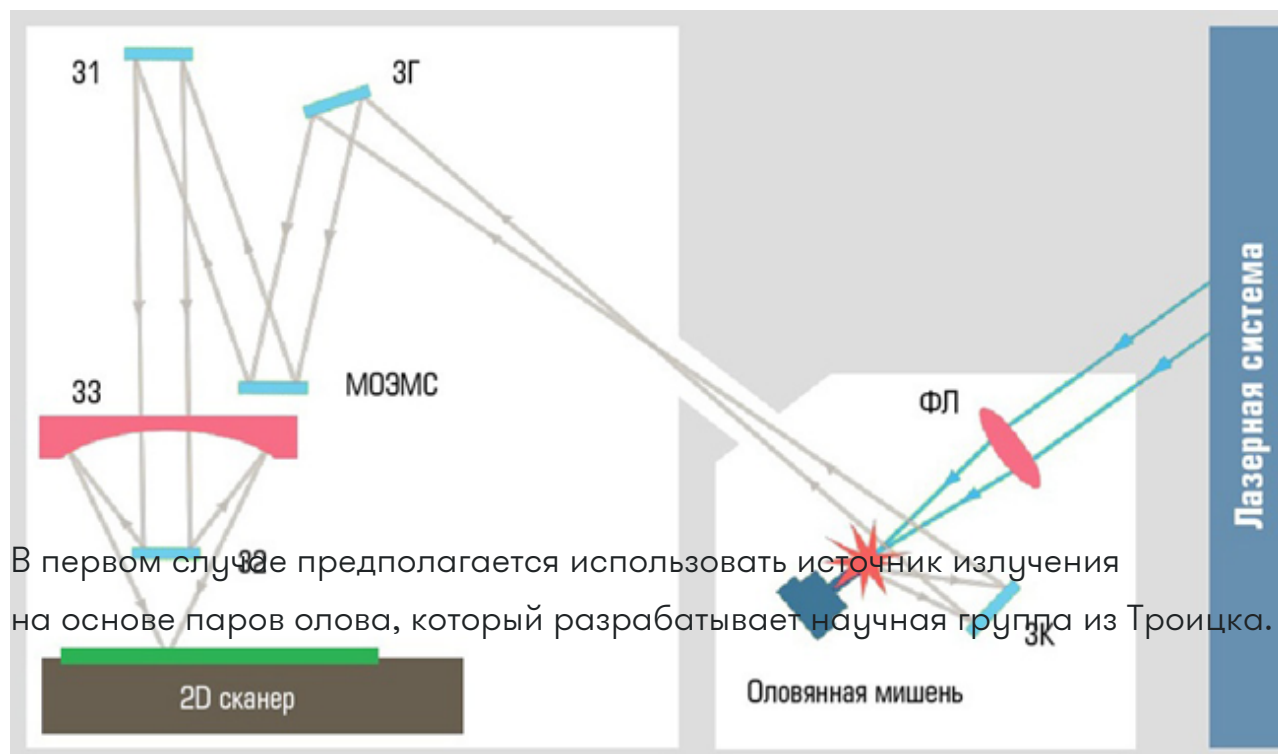


Схема установки безмасочной рентгеновской литографии с управлением коэффициентом пропускания рентгеновского излучения (вариант 2)

ЖУРНАЛ
"СТИМУЛ"

Во втором случае будет применяться источник синхротронного излучения, а именно, зеленоградский синхротрон НИИФП, ныне входящего в состав Курчатовского института. Синхротронное излучение — разновидность рентгеновского излучения с длиной волны от долей ангстрема до инфракрасного излучения, что позволяет использовать его для рентгеновской литографии.

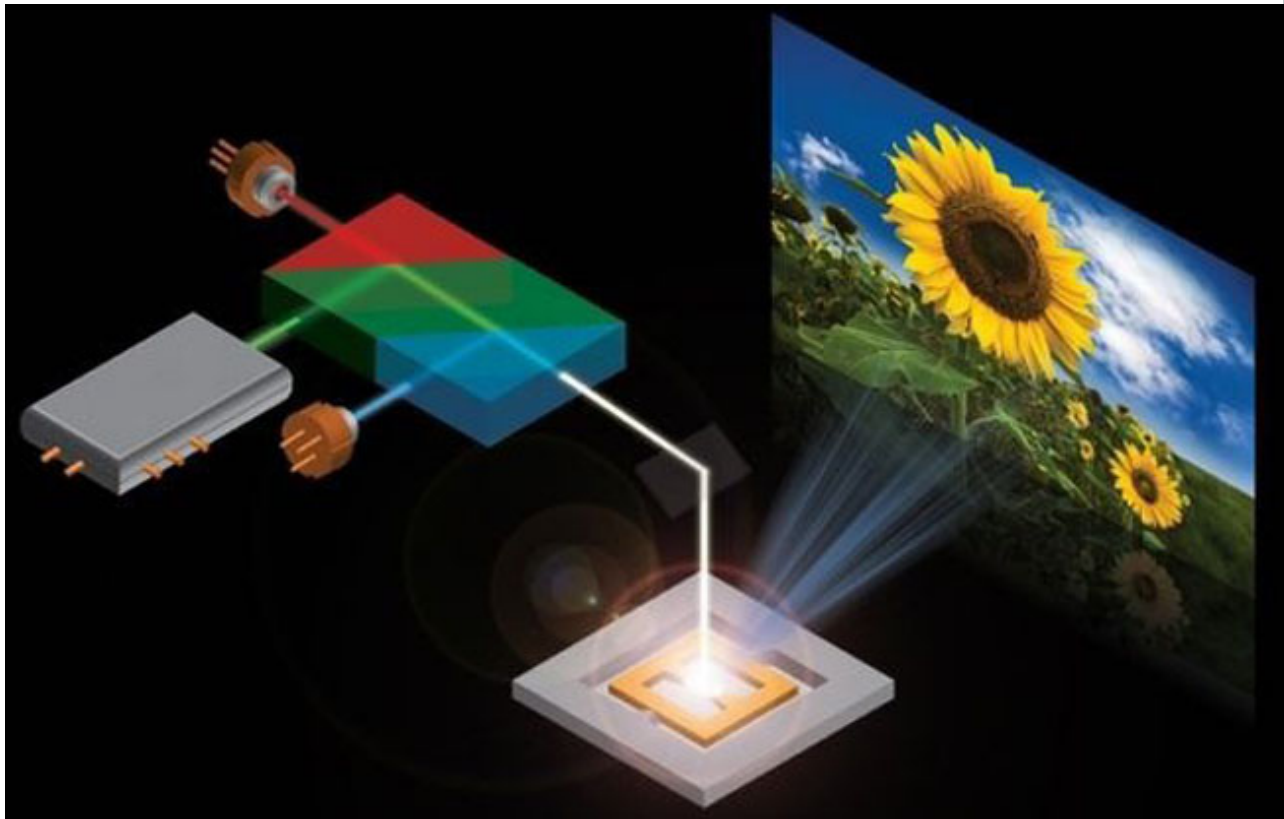
Кстати, синхротрон в Зеленограде когда-то, в середине 1980-х, создавался именно с этой целью — для нужд микроэлектроники: реализации процессов фотолитографии при производстве фотошаблонов, сверхбольших и сверхбыстродействующих интегральных схем.

Сегодня, по предложению президента Курчатовского института Михаила Ковальчука, на базе зеленоградского синхротрона создается Центр новых технологий, одно из предназначений которого — решение задач рентгенолитографии. Окончательный его пуск должен состояться в 2023 году.

Осенью 2021-го МИЭТ получил госсубсидию на реализацию проекта «Разработка и исследование перспективных материалов и наноструктур для технологии безмасочной рентгеновской нанолитографии, применимой к созданию новой компонентной базы микро- и нанoeлектроники с использованием источника синхротронного излучения», подготовленного в ЦКП «МСТ и ЭКБ». Синхротрон будет задействован в проекте, как только он будет готов к работе, уточнили тогда «Зеленоград.ру» в МИЭТе.

Функцию фотошаблона (маски) в литографе будет выполняет микрооптическая электромеханическая система микрозеркал (МОЭМС). В этой технологии, как пояснил Николай Дюжев, топология кодируется состоянием пикселей (микрозеркал) МОЭМС, отражающих или пропускающих рентгеновское излучение. Для смены проецируемого

изображения достаточно поменять программу, а динамическая маска сама формирует изображение, которое необходимо получить на резисте.



Формирование с помощью МОЭМС изображения с пространственным разрешением, определяемым размером пятна фокусировки порядка размера пикселя, нормированного на коэффициент уменьшения оптической системы

ЖУРНАЛ
"СТИМУЛ"

Систему позиционирования для обоих вариантов фотолитографа взялась разработать зеленоградская компания ЭСТО, специализирующаяся на разных направлениях электронного машиностроения.

Фотолитограф — лет через пять, и одного фотолитографа мало

Завершить выполнение НИР в МИЭТе должны уже в ноябре этого года, разработав технологию и макеты динамической маски, а также ТЗ и ТЭО на опытный образец литографа.

«Одной из основных задач, которую необходимо решить в рамках НИР, является обеспечение стабильной работы матрицы МОЭМС, — отметил Николай Дюжев. — Важно отработать технологию изготовления ее отдельных конструктивных частей на основе новых материалов и наноструктур, способных выдерживать влияние излучения в диапазоне длин волн менее 13,5 нанометра и обеспечивать высокое быстродействие».

Промышленных результатов НИР можно ждать не ранее чем лет через пять, считает автор публикации. При этом разработки даже самого совершенного фотолитографа недостаточно, «если он не станет частью всего комплекса необходимого оборудования, производство которого, в свою очередь, не будет поддержано соответствующей научной и производственной базой».

Такое оборудование требуется для каждой из полусотни операций в технологическом процессе изготовления микропроцессоров (весь процесс разобран в статье подробнее). Три основных его этапа — фотолитография, травление и имплантация, и на каждом уровне оборудования является критическим.



Технологический процесс изготовления микропроцессора

ЖУРНАЛ
"СТИМУЛ"

В конце прошлого года Минпромторг заказал разработку программы развития электронного машиностроения в России до 2030 года, которая предполагает налаживание выпуска установок для производства современной микроэлектроники. Разработчиком станет «Мытищинский научно-исследовательский институт радиоизмерительных приборов».

Но такая программа — только первый шаг. Необходимо, по сути, восстановление целой отрасли: создание и развитие отечественных компаний, отвечающих за разработку, производство и серийное сопровождение технологического оборудования и расходных материалов в объемах, необходимых отечественной микроэлектронике.