

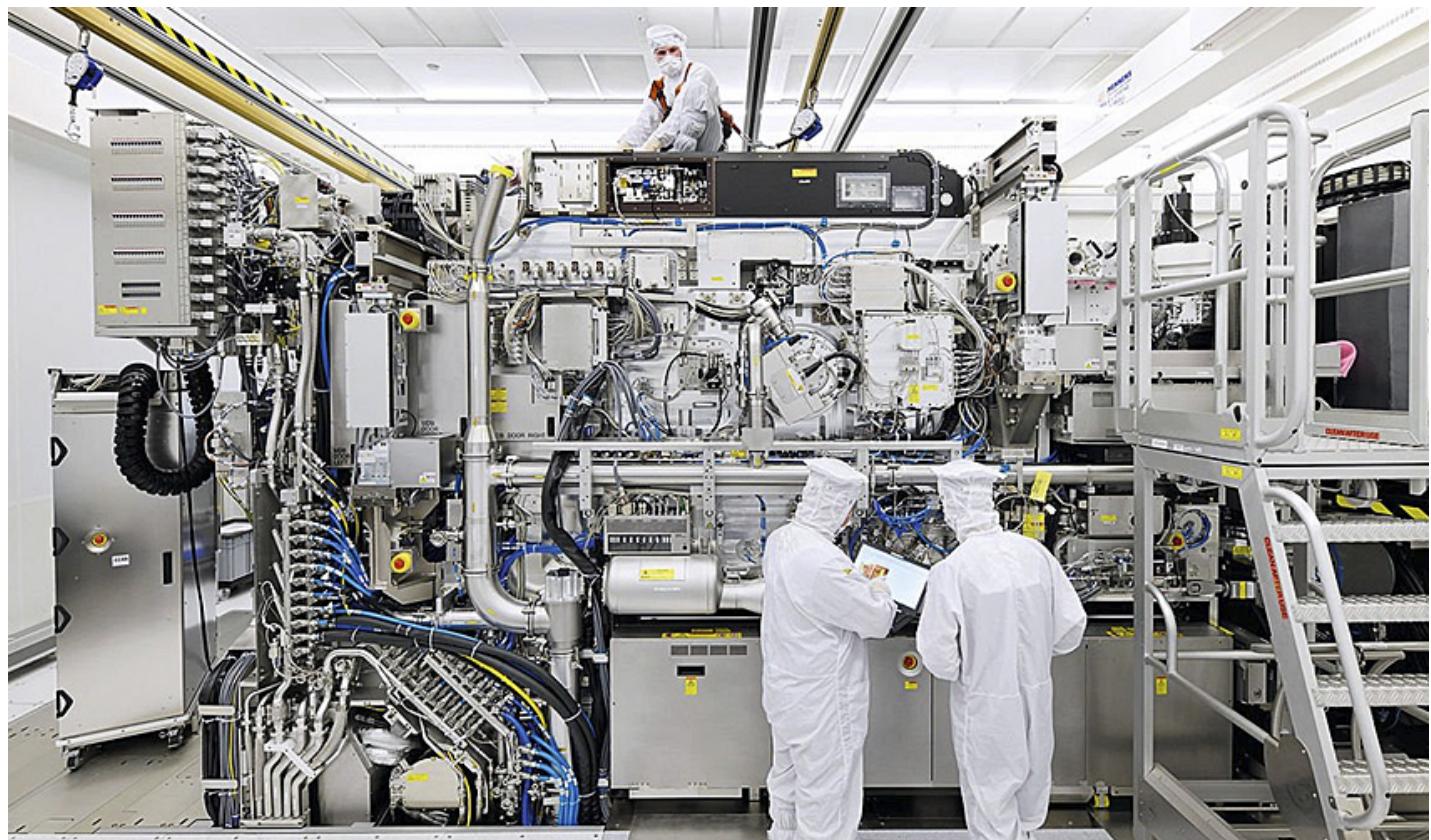
НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ 21 Марта 2022

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

Фотолитография с пятнадцатилетним опозданием

Александр Механик

Ключевой технологией, обеспечивающей возможность изготовления и развития микроэлектроники, является фотолитография. Две зеленоградские организации по заказу Минпромторга занялись разработкой фотолитографов для реализации разных проектных норм – от 130 до 28 нм и менее. Речь о длительных НИР и ОКР, которые, по-хорошему, нужно было начинать лет пятнадцать назад



Степпер ASML: ключевое звено в производстве микросхем. Стоимость прибора около \$170 млн

ASML

Статья публикуется одновременно в журналах «Эксперт» и «Стимул»

Нарастание геополитического противостояния России и, как теперь принято говорить, коллективного Запада продемонстрировало предельно острую необходимость обеспечения технологической независимости России. В первую очередь это означает необходимость достижения независимости от поставок микроэлектроники – ключевого элемента любой современной электроники, которая, в свою очередь, является основой всей современной техники. А выполнение такой задачи требует развития в стране электронного машиностроения, которое должно обеспечить независимость российской микроэлектроники от импорта оборудования и технологий, главной из которых является фотолитография.

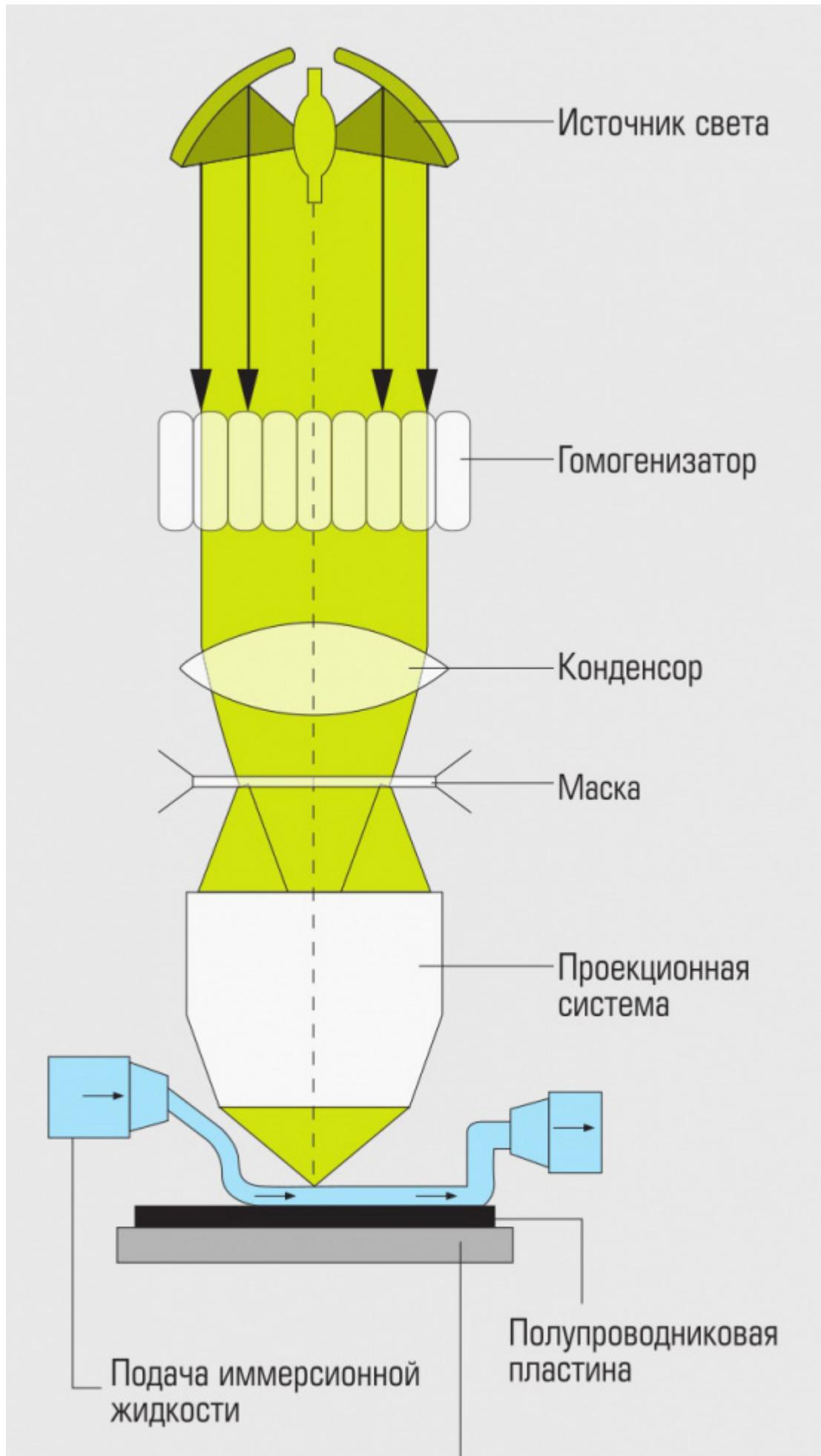
К сожалению, правительство вплотную занялось этой проблемой только с приходом в него новой команды в 2020 году. Возможно, если бы возрождать электронное машиностроение начали пятнадцать лет назад, страна не стояла бы сейчас перед угрозой лишения ее доступа к современной микроэлектронике. Но это к слову.

И вот сейчас две зеленоградские организации по заказу Минпромторга занялись разработкой фотолитографов (степперов) для реализации разных проектных норм. Это Зеленоградский нанотехнологический центр, который будет разрабатывать фотолитограф на 130 нм и Центр коллективного пользования «Микросистемная техника и электронная компонентная база» при НИУ «Московский институт электронной техники» (ЦКП «МСТ и ЭКБ» МИЭТ), взявшийся за разработку концепции безмасочного экстра ультрафиолетового (ЭУФ) с длиной волны излучения менее 13,5 нм литографа с разрешением 28 нм и менее. Первый необходим для поддержания существующего уровня российской микроэлектроники, второй – для достижения самого современного уровня.

КАКАЯ БЫВАЕТ ФОТОЛИТОГРАФИЯ

Цель фотолитографии в микроэлектронике – формирование заданного изображения на кремниевой подложке для получения необходимой топологии микросхемы. Для этого на кремниевую подложку наносят тонкий слой материала, из которого нужно сформировать рисунок. На этот слой наносится светочувствительный материал – фоторезист, который подвергается облучению через оптическую систему специальной машины – фотолитографа – и фотошаблон (маску). После последующей обработки фоторезиста на пластине остается заданный рисунок. Чем меньше длина волны излучения, тем меньше размеры получаемых элементов рисунка. В процессе изготовления микросхем операция фотолитографии на одной пластине повторяется многократно, и каждое новое изображение должно очень точно совмещаться с предыдущим.

Существует несколько типов фотолитографии. До последнего времени в производстве микроэлектроники использовалась проекционная фотолитография с источником света в ближней ультрафиолетовой области спектра, оборудование которой было одним из самых сложных, точных и дорогих устройств в машиностроении до появления следующего поколения фотолитографии. Такого типа проекционная фотолитография позволяет достичь проектных норм до 28 нм и ниже. Применение иммерсии на длине волны 193 нм и технологии многократного экспонирования позволяет получать технологические нормы до 10 нм. Проблема в стоимости такой литографии и производительности. Цена таких установок выросла за последние десятилетия с десятков тысяч долларов до 300 миллионов (см. схему 1).



Система позиционирования

Схема 1. Оптическая схема традиционной фотолитографии

А литографические объективы фирмы Carl Zeiss, которая, по сути, монополизировала рынок высокоразрешающих литографических объективов и фактически является их единственным производителем, имеют высоту до 170 см, диаметр до 600 мм, содержат около 40 чрезвычайно высококачественных линз и отражающих оптических элементов и весят до 800 кг.

Последняя разработка советской фотолитографической установки такого типа (революционная по тем временам) была сделана в СССР в конце 1980-х минским предприятием «Планар» под научным руководством тогдашнего директора Физико-технологического института РАН академика РАН **Камиля Валиева**.

А разработку и производство самых современных фотолитографов следующего поколения, так называемых EUV-установок (extreme ultraviolet lithography – экстремальная ультрафиолетовая литография, ниже мы для упрощения мы называем ее рентгеновской), рассчитанных на достижение проектных норм менее 10 нм, осуществляет в мире только одна компания – голландская ASMLithography.



Литографические объективы фирмы Carl Zeiss, которая, по сути, монополизировала рынок высокоразрешающих литографических объективов и фактически является их единственным производителем, имеют высоту до 170 см, диаметр до 600 мм, содержат около 40 чрезвычайно высококачественных линз и отражающих оптических элементов и весят до 800 кг

Суммарная стоимость набора фотошаблонов (масок) для производства одного типа чипов, которые являются важнейшим элементом технологии фотолитографии, может достигать нескольких миллионов долларов, и они требуют регулярной замены. Суммарная их стоимость за время производства данного типа чипов может достигать многих десятков миллионов долларов.

До недавнего времени самые передовые проектные нормы достигались с использованием проекционной фотолитографии на длине волны 193 нм, возможности которой уже на порядок превзошли дифракционный предел разрешающей способности оптической системы литографа.

А разрешение 14 нм и менее, уже несколько лет назад достигнутое в массовом производстве, является результатом применения EUV-фотолитографии на длине волны 13,5 нм. Проблема при создании установок для EUV-литографии состоит в том, что на этой длине волны нельзя использовать традиционные источники света и традиционную оптику из-за интенсивного поглощения такого излучения всеми известными оптическими материалами (см. схему 2).

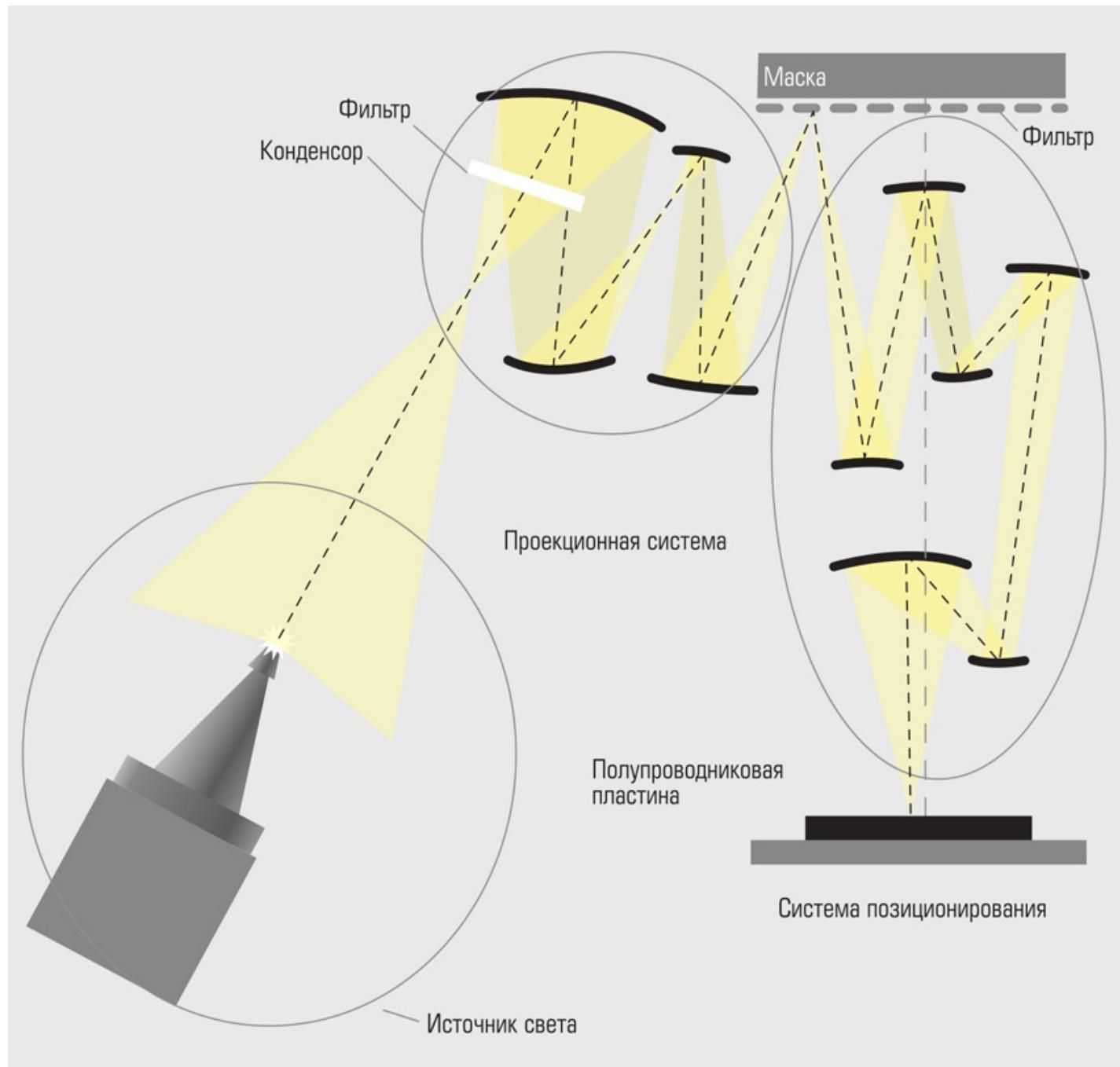


Схема 2. Оптическая схема EUV-фотолитографа

Поэтому в подобных оптических системах используют отражающую многослойную оптику, то есть зеркала с соответствующим интерференционным покрытием.

Вторая важная проблема состоит в том, что с уменьшением проектных норм повышаются требования к точности системы позиционирования.

В результате сложность этих установок такова, что их стоимость уже превосходит 300 млн долларов*.



Член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Института физики микроструктур РАН Николай Салащенко

Николай Нестеренко

В России в 2010-е годы тоже была начата **разработка** такого EUV-фотолитографа. Разработкой его оптической системы, ее элементов и интерференционных покрытий, работающих на длине волны 13,5 нм, и прототипа самой установки занимался в Институте физики микроструктур (ИМФ) РАН (теперь это филиал Института прикладной физики РАН – ИПФ) в Нижнем Новгороде коллектив разработчиков во главе с членом-корреспондентом РАН **Николаем Салащенко**, известным специалистом в области многослойной рентгеновской оптики. Источник излучения разрабатывался в Институте спектроскопии (ИСАН) РАН в подмосковном Троицке под руководством заведующего лабораторией **Константина Кошелева**, занимавшегося методами возбуждения мощного коротковолнового излучения в плазме с температурой почти миллион градусов. Благодаря многолетним исследованиям спектров различных материалов в ИСАН знали, что на длине волны 13,5 нм

излучают пары олова. Разработчики предложили оригинальные решения конструкций источников излучения. Надо отметить, что разработки этих коллективов использовались и в той самой голландской компании ASMLithography.



Доктор физико-математических наук, заведующий отделом Института физики микроструктур РАН
Николай Чхало

Предоставлено Николаем Чхало

К сожалению, эта разработка отечественного EUV-фотолитографа закончилась на стадии макета, хотя ее результатами в части высокоточной рентгеновской оптики и многослойных покрытий и источника излучения собирается воспользоваться ЦКП «МСТ и ЭКБ» МИЭТ, взявшись за разработку фотолитографа на 28 нм на принципиально новых принципах безмасочной фотолитографии с использованием динамической маски на основе МЭМС* (или, скорее, МОЭМС**). Основы такого подхода ранее также были **разработаны** в ИМФ (ИПФ) уже под руководством доктора физико-математических наук **Николая Чхало**.

Как отметил директор ЦКП **Николай Дюжев**, «наш проект – это поисковая работа, не имеющая аналогов: никто в мире безмасочную литографию на таких принципах еще не делал».

Но начнем мы с рассказа о разработке Зеленоградского нанотехнологического центра.

* МЭМС (от англ. *MEMS, Micro-Electro-Mechanical Systems*) представляют собой соединение механических элементов, датчиков, а также приводов и электроники на одной кремниевой

подложке (основании). МЭМС включает в себя ряд механических микроструктур, в частности микродатчиков, микроактуаторов и микроэлектроники, объединенных на кремниевом чипе. Поэтому МЭМС относят к интегрированным системам (размер которых составляет от нескольких микрометров до миллиметров), объединяющим в себе механические и электрические компоненты. В качестве примеров МЭМС, широко используемых в различных гаджетах, можно привести микромеханические акселерометры, в том числе датчики углового положения; микромеханические датчики давления, микромеханические гироскопы.

** МОЭМС – разновидность МЭМС, включающая в себя оптоэлектронные устройства и системы – волноводы, дифракционные решетки, подвижные зеркала и другие элементы, которые могут изменять, модулировать путь светового луча или спектрально модифицировать световой луч



Директор ЦКП «МСТ и ЭКБ» при НИУ «Московский институт электронной техники» Николай Дюжев

Предоставлено Николаем Дюжевым

НАША ЦЕЛЬ – 65 НМ

Зеленоградский нанотехнологический центр (ЗНТЦ) учрежден Зеленоградским инновационно-технологическим центром (это частная компания) и государственным фондом ФИОП (Фонд инфраструктурных и образовательных программ «Росnano»). Перед новой компанией была поставлена задача создать собственную линейку технологической инфраструктуры, на базе которой можно было бы развивать стартапы, которых в настоящее

время порядка 35. Помимо этого компания занимается разработкой собственных технологий и продуктов в области микроэлектроники. Это микросхемы, датчики, МЭМС, интегральная фотоника.

Разработка фотолитографического оборудования для ЗНТЦ, как рассказал нам его генеральный директор **Анатолий Ковалев**, — дело новое, но в компании рассчитывают на поддержку в разработке «железа» белорусского «Планара», о котором мы рассказали выше. Обращение на «Планар» не случайно, потому, что, по мнению Ковалева, в России за последние десятилетия были полностью утрачены компетенции по созданию средств производства для микроэлектроники почти по всем направлениям.



Директор Зеленоградского нанотехнологического центра Анатолий Ковалев

Предоставлено Анатолием Ковалевым

«Вся работа, — пояснил Ковалев, — состоит из двух частей. Разработка технологического процесса — нанесение, проявление, перенос изображения, аттестации и разработка самого "железа". Разрабатывать и производить опытный образец фотолитографа (степпера) будут наши партнеры из Беларуси. Ставить технологии будут у нас. А лицензию на серийное производство наше государство, которое оплачивает все работы, сможет дать любому из предприятий, кому оно посчитает необходимым».

Другим важным элементом фотолитографа является лазер на длину волны 193 нм, общепринятую в таких степперах. ЗНТЦ заказывает такой лазер у российской компании Lassard, ведущего российского производителя лазеров и лазерного оборудования.

Выбор в качестве ближайшей цели создание фотолитографа, рассчитанного на проектные нормы 130 нм не случаен. Дело в том, что на рынке ЭКБ и сейчас, и, по мнению Анатолия Ковалева, еще довольно долгие годы будет преобладать потребность в оборудовании, рассчитанном на реализацию технологий от 250 до 90 нм. «Именно в этом диапазоне будет производиться основная масса микроэлектроники. Потому что делать контроллеры, силовую или автомобильную электронику на субнанометровых разрешениях 28 нанометров и менее, конечно, никакого смысла не имеет. На этих размерах делают процессоры, память. Все остальное в районе 90, 130, 180 нанометров. Поэтому такое оборудование точно будет востребовано».



Разработку и производство самых современных фотолитографов следующего поколения, так называемых EUV-установок (extreme ultraviolet lithography), рассчитанных на достижение проектных норм менее 10 нм, осуществляет в мире только одна компания – голландская ASMLithography

На 130 нм компания останавливаться не собирается. Как рассказал Анатолий Ковалев, «следующая наша цель – это 90 и 65 нанометров. Для длины волны лазера 193 нанометра – это предел. Для меньших проектных норм нужны уже другие решения».

Мы поинтересовались потребностью в таких установках. Как говорит Ковалев, «сейчас таких установок в России, по моим расчетам, порядка 35–40. Им по пятнадцать лет, а некоторым и двадцать. А их нужно достаточно регулярно менять. Вот уже сорок машин нужно заменить. Кроме того, в России есть еще несколько фабрик по производству микросхем, возникают новые компании, “Микрон” собирается увеличивать свои производственные мощности». Такие установки могут быть востребованы и на мировом рынке: многие страны, нуждающиеся в таком оборудовании, не устраивает монополия на него, тем более что по цене новая установка должна быть, по предварительным оценкам, на 30% дешевле, чем у главного их производителя голландской ASML.

ОБОГНАТЬ ВЕСЬ МИР

ЦКП «МСТ и ЭКБ» МИЭТ был основан в 2002 году и предназначен для проведения научных исследований и разработки технологии ЭКБ наноэлектроники. В настоящее время, как рассказал нам Николай Дюжев, деятельность ЦКП охватывает широкий спектр научных направлений, из которых по меньшей мере три имеют прямое отношение к разработке фотолитографа. Это разработка и исследование рентгеновских приборов, МЭМС и НЭМС*-устройств для литографического оборудования будущего поколения.

* Наноэлектромеханические системы (НЭМС) – класс устройств, объединяющих в себе электронные и механические компоненты в нанометровом масштабе (до 100 нм). НЭМС являются логическим продолжением развития микроэлектромеханических систем (МЭМС) на пути миниатюризации.

Решение взяться за разработку фотолитографа, рассчитанного на 28 нм и менее, причем уникальной конструкции, основывается, как отметил Николай Дюжев, на проведенных в ЦКП нескольких НИОКР, в рамках которых были разработаны экспериментальные и теоретические основы и ключевые технологии, необходимые для создания такого фотолитографа. В частности, ЦКП участвовал в разработке с длинным названием «Разработка источника мягкого рентгеновского излучения на основе матрицы микрофокусных рентгеновских трубок для безмасочного литографа с разрешением лучше 10 нм», в рамках которой были проработаны многие решения, необходимые для создания литографа. Эти работы, как пояснил Дюжев, были проведены совместно с уже упомянутым коллективом сотрудников Института физики микроструктур из Нижнего Новгорода во главе с Николаем Чхало. Этот коллектив, как мы уже отметили выше, уже несколько лет назад разработал проект и создал демонстратор безмасочного рентгеновского нанолитографа на основе МОЭМС.

Выбор такого типа конструкции фотолитографа на принципах безмасочной фотолитографии с использованием динамической маски на основе МОЭМС обусловлен в том числе тем, что из-за высокой стоимости оборудования, дороговизны масок, сложной и дорогостоящей инфраструктуры проекционная фотолитография обоих типов становится конкурентоспособной только при массовом производстве, которое достигает десятков миллионов чипов в год. Иными словами, для этой технологии требуется глобальный рынок. Все это в совокупности делает технологию проекционной фотолитографии, особенно EUV-фотолитографию, доступной только единичным глобальным игрокам, таким как Intel, Samsung, TSMC, Global Foundries.



Разрешение 14 нм и менее, уже несколько лет назад достигнутое в массовом производстве, является результатом применения EUV- фотолитографии на длине волны 13,5 нм. Проблема при создании установок для EUV-литографии состоит в том, что на этой длине волны нельзя использовать традиционные источники света и традиционную оптику

Как сказано в техническом задании на НИР, целью его выполнения является экспериментальная проверка основных технологических решений в области безмасочной рентгеновской нанолитографии: изготовление и экспериментальное исследование макетов динамической маски на основе МОЭМС в двух вариантах: с управлением коэффициентом

отражения рентгеновского излучения и с управлением коэффициентом пропускания рентгеновского излучения. В первом случае в качестве источника излучения предполагается использовать источник на основе паров олова (о нем мы рассказали выше), который разрабатывает ООО «ЭУФ Лабс» из Троицка во главе с тем же Константином Кошелевым. Во втором предполагается использовать источник синхротронного излучения (синхротрон) Научно-исследовательского института физических проблем им. Ф. В. Лукина в Зеленограде, ранее входившего в состав зеленоградского Научного центра, а ныне входящего в состав Курчатовского института. Синхротронное излучение – это разновидность рентгеновского излучения с длиной волны от долей ангстрема до инфракрасного излучения, что, собственно, и позволяет использовать его для рентгеновской литографии.

История этого синхротрона отражает все перипетии, которые пережила отечественная микроэлектроника. Его начали строить еще в 1984 году, в 1990-е строительство остановилось, но все-таки в 2002 году состоялся его пробный пуск. По предложению президента Курчатовского института **Михаила Ковальчука** на базе этого синхротрона создается Центр новых технологий, одним из назначений которого является решение задач рентгенолитографии. Окончательный его пуск должен состояться в 2023 году.

А НИР, о котором мы рассказываем, должен завершиться в обоих вариантах уже в ноябре этого года созданием технологии и макетов динамической маски, а также ТЗ и ТЭО на опытный образец литографа.

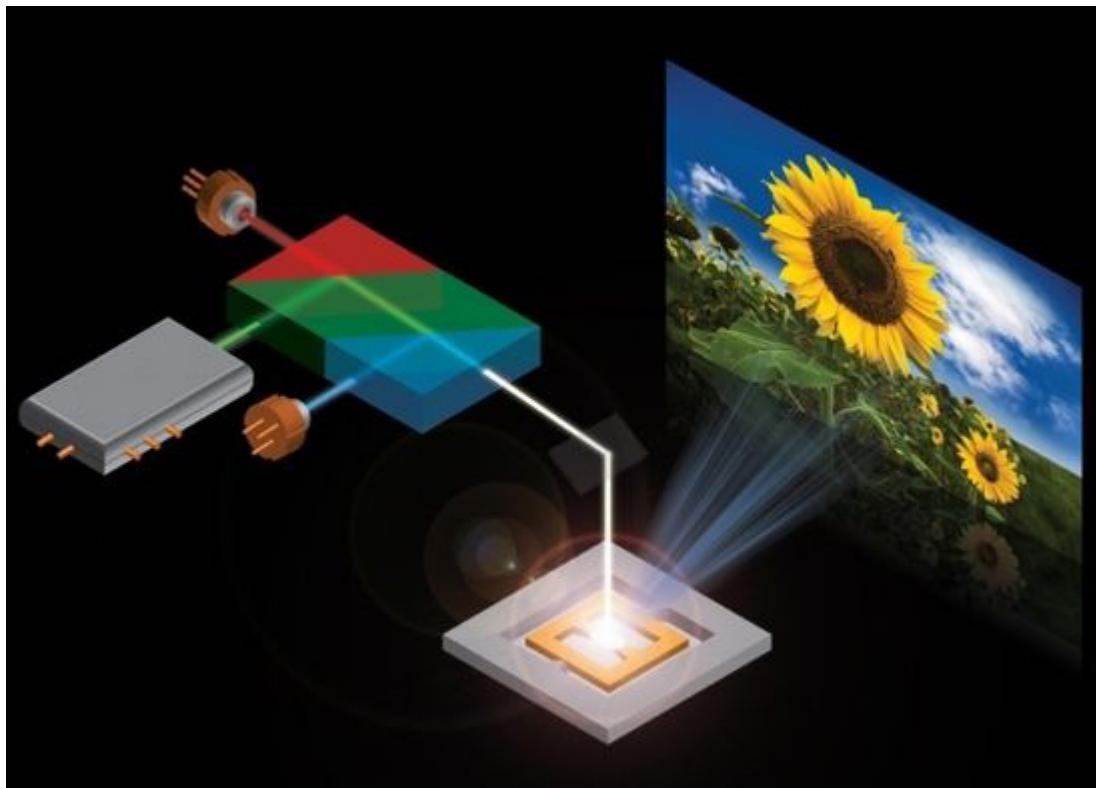


Схема 3. С помощью МОЭМС можно формировать изображения с пространственным разрешением, определяемым размером пятна фокусировки порядка размера пикселя, нормированного на коэффициент уменьшения оптической системы

Функцию фотошаблона (маски) выполняет в обоих случаях 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 (см. схему 3).



«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»

При этом, как и в традиционной литографии, динамическая маска стационарна, а пластина с резистом сканируется по двум координатам. А систему позиционирования для обеих вариантов фотолитографов взялась разработать зеленоградская компания ЭСТО, специализирующаяся на разных направлениях электронного машиностроения.

«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».

Фотолитограф с управлением коэффициентом отражения рентгеновского излучения (см. схему 4). Как рассказал нам Николай Чхало, работа литографической установки с управляемым коэффициентом отражения происходит следующим образом: излучение лазера фокусируется с помощью линзы на врачающуюся жидкую оловянную мишень. В результате лазерного пробоя паров олова и нагрева электронов в световом поле лазерного излучения образуется высокотемпературная плазма.

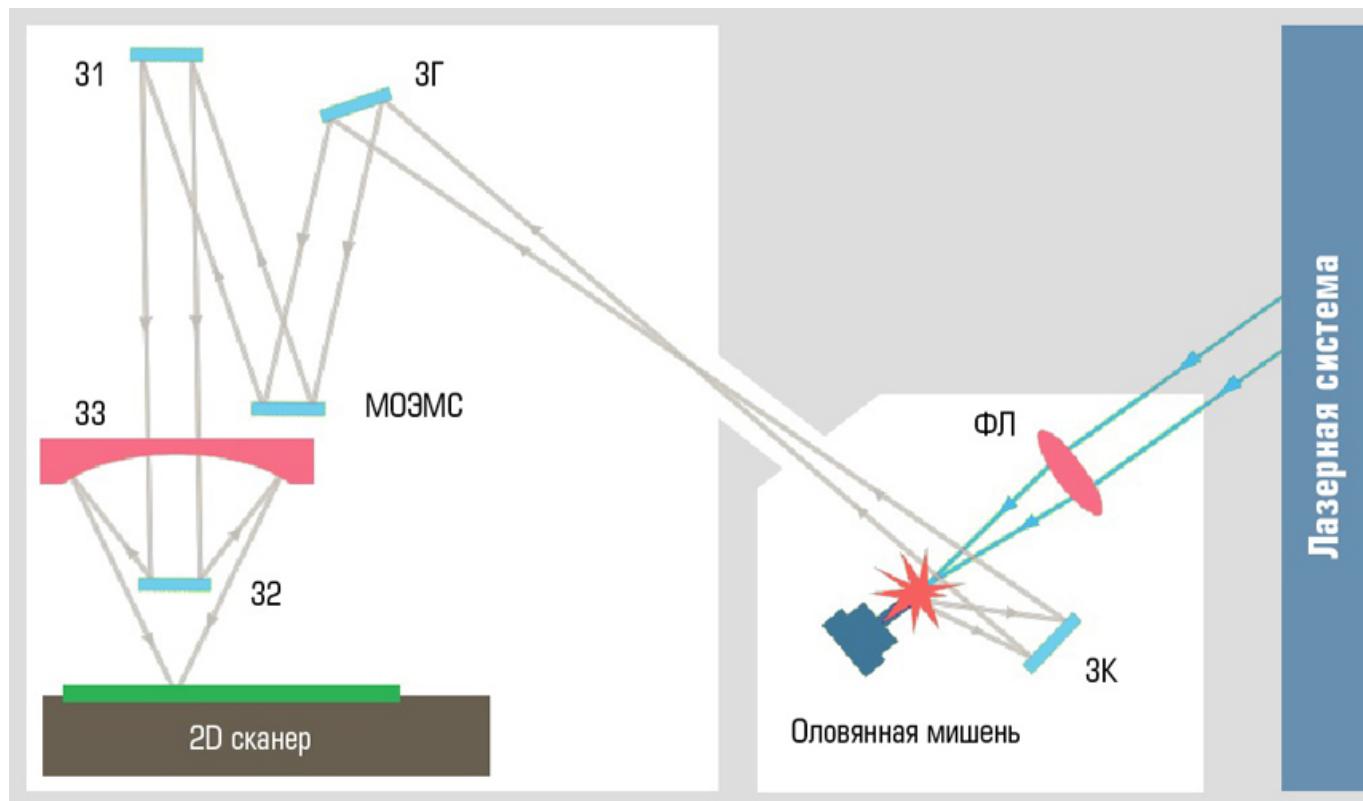


Схема 4. Схема установки безмасочной рентгеновской литографии с управлением коэффициентом отражения рентгеновского излучения

В варианте конструктивного исполнения динамической маски «на отражение» излучения она является матрицей подвижных МЭМС-структур с гладкой поверхностью (микрозеркал), отражающих рентгеновские лучи в сторону проекционного объектива рентгенооптической системы или перенаправляющих излучение в область за его пределами. Угол наклона микрозеркал, характеризующий их открытое/закрытое состояние, регулируется электростатическим путем подачи напряжения на соответствующие управляющие электроды, что позволяет контролировать угол отражения рентгеновского пучка и тем самым точность формирования границ топологии элементов микросхем.

Образовавшиеся в плазме ионы олова интенсивно излучают в относительно узком спектральном диапазоне с максимумом излучения на длине волны 13,5 нм.

Это излучение отражается зеркалом-коллектором (ЗК) и перенаправляется на зеркало-гомогенизатор (ЗГ), обеспечивающее однородное освещение МОЭМС, которая формирует увеличенное изображение топологии чипа. Отраженное от МОЭМС излучение падает на первое зеркало трехзеркального проекционного объектива и далее с помощью зеркал 32 и 33 уменьшенное в 400 раз изображение сформированное МОЭМС переносится на пластину с фоторезистом, установленную в плоскости изображения на системе позиционирования.

Фотолитограф с управлением коэффициентом пропускания рентгеновского излучения (см. схему 5). Об устройстве фотолитографа с управлением коэффициентом пропускания рентгеновского излучения нам рассказал Николай Дюжев. Рентгеновское излучение, которое генерируется в синхротронном источнике, направляется через систему зеркал на динамическую МОЭМС-маску, формирующую в реальном времени увеличенное изображение топологии чипа.

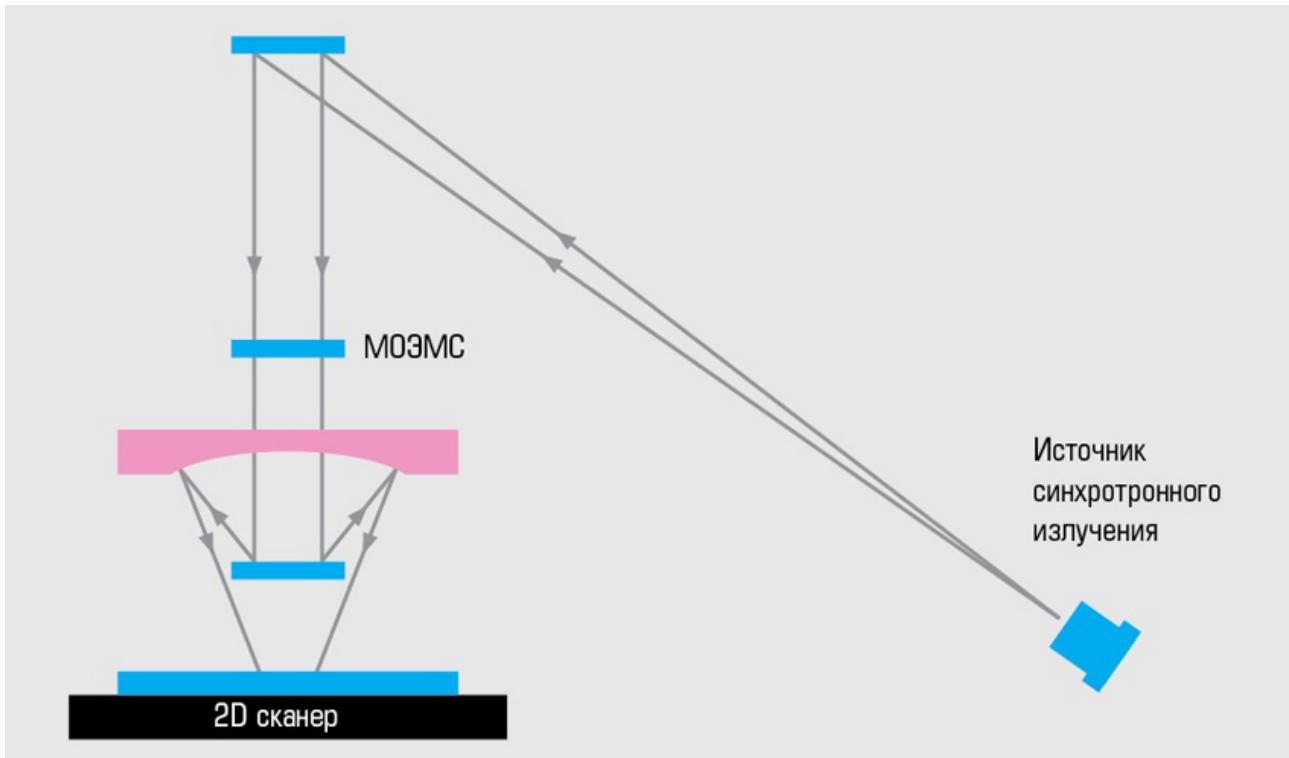


Схема 5. Схема установки безмасочной рентгеновской литографии с управлением коэффициентом пропускания рентгеновского излучения

В варианте конструктивного исполнения динамической маски «на пропускание» излучения она представляет собой кремниевую мембрану с матрицей отверстий и расположенных над ними электростатически управляемых оптических МЭМС-затворов – многослойных подвижных элементов, открывающих/закрывающих отдельные отверстия в мемbrane для пропускания/блокировки прохождения (отражения или поглощения) рентгеновских лучей, что обеспечивает формирование топологии чипа по заданному рисунку. Каждое отверстие в мембране отвечает за формирование единичного пикселя изображения на пластине. Управление открытием/закрытием оптических затворов осуществляется электрическим полем от специальных электродов – управляющих шин, расположенных на МЭМС-динамической маске вблизи каждого из отверстий. Оптическая система микрозеркал уменьшает изображение на выходе с МЭМС-динамической маски (в

зависимости от используемой технологии, кратность уменьшения может варьироваться от 10x до 400x). Если диаметр отверстий в маске равен 200 нм, при кратности уменьшения 10x это позволяет сжать единичный пиксель до размера 20 нм. Далее проекционный объектив переносит уменьшенное изображение с МЭМС-динамической маски на пластину с резистом, также расположенную на системе позиционирования.

Отметим, что разработка фотолитографа на 130 нм с доведением его до 65 нм Зеленоградского нанотехнологического центра – это ОКР, то есть можно надеяться, что ее итогом станет промышленный образец степпера, а вторая – два варианта безмасочной фотолитографии – это, как говорится, глубокий НИР. И следовательно, промышленных результатов, даже в случае удачи НИР, можно ждать не ранее чем лет через пять.

СДЕЛАТЬ ТОЛЬКО ФОТОЛИТОГРАФ – МАЛО

Но 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.

При всей важности фотолитографа для процесса изготовления микроэлектроники технологический процесс изготовления микропроцессоров значительно сложнее и включает в себя до 50 операций, причем каждая из них требует своего сложнейшего оборудования, без которого тоже невозможно обойтись в процессе изготовления микроэлектроники.

Если попытаться представить технологический процесс изготовления процессоров самым кратким и примитивным образом, то в нем можно условно выделить три основные технологии: фотолитография, травление и имплантация. Именно эти три технологии и оборудование для их реализации являются в микроэлектронике критическими, определяют достигнутый уровень проектных норм, то есть уровень развития микроэлектроники и электронного машиностроения в стране (см. схему 6).

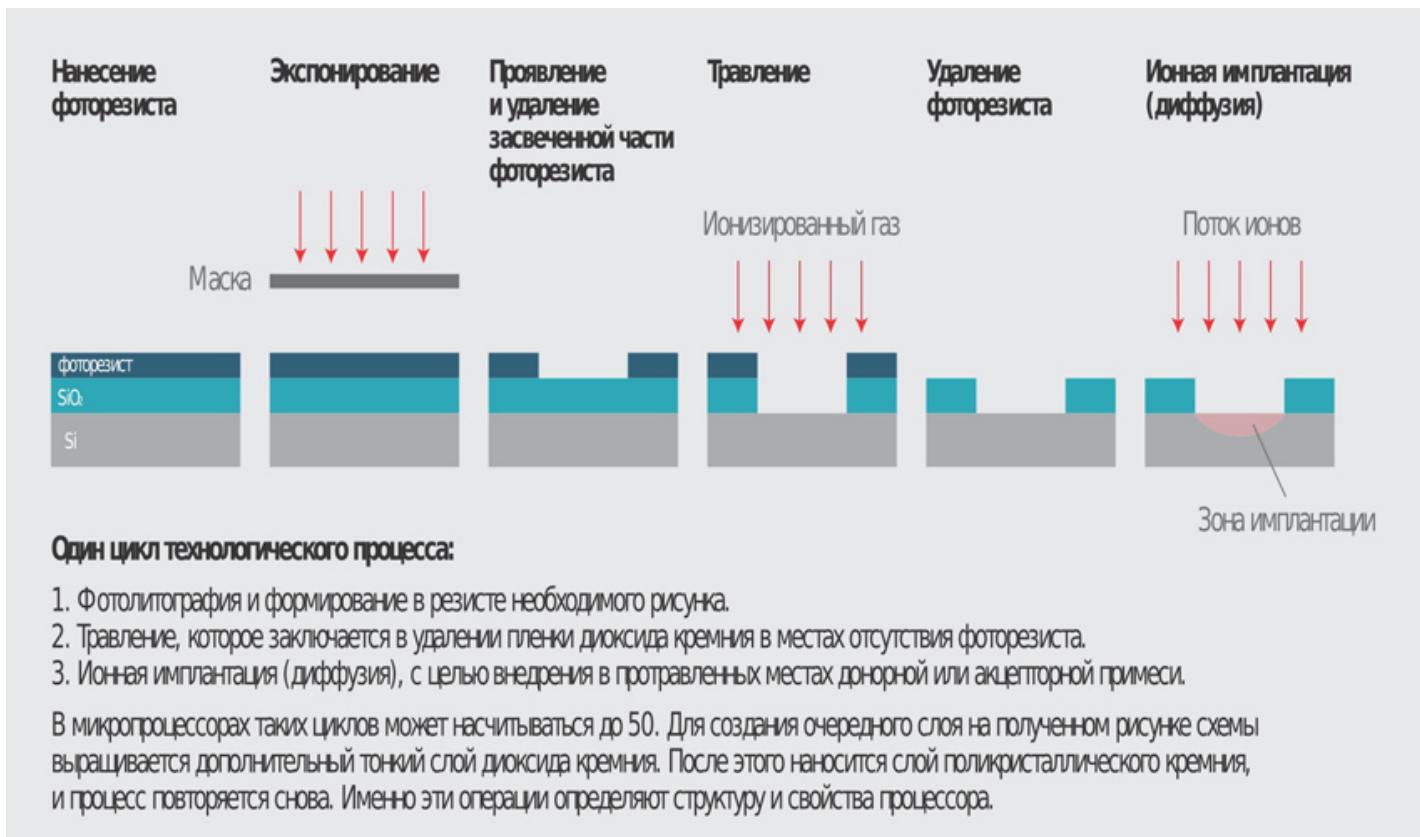


Схема 6. Технологический процесс изготовления микропроцессора

После проявления фоторезистивной маски наступает этап травления диэлектрика (диоксида кремния), покрывающего пластину кремния, с целью удаления его открытых участков и создания заданных структур – глубоких канавок и отверстий. В производстве полупроводниковых устройств логики используется метод сухого травления, называемого также плазменным, где используется ионизированный газ сложного химического состава. Такой метод обеспечивает прецизионный контроль процесса, а вытравливание происходит строго вертикально.

По окончании травления, когда вскрыты нужные области кремния, удаляется оставшийся фоторезист, и на кремниевой пластине остается трехмерная структура диоксида кремния. Именно этот вид травления диэлектрика, определяющего критические размеры структур, самый сложный в производстве полупроводниковых чипов.



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

Процесс травления, используемый для формирования необходимого рисунка на кремниевой подложке, требуется для того, чтобы создать в нужных местах полупроводниковые структуры путем внедрения донорной или акцепторной примеси. Процесс внедрения примесей осуществляется посредством диффузии – равномерного внедрения атомов примеси в кристаллическую решетку кремния. Для процесса диффузии легирующей примеси применяется ионная имплантация. Суть ее в том, что ионы нужной примеси «выстреливаются» из высоковольтного ускорителя и, обладая достаточной энергией, проникают в поверхностные слои кремния. Имплантатор – одна из сложнейших систем в производстве микроэлектроники.

В конце прошлого года Минпромторг заказал разработку программы развития электронного машиностроения в России до 2030 года. Она предполагает налаживание выпуска установок для производства современной микроэлектроники. Разработчиком программ выбрано ФГКУ «Мытищинский научно-исследовательский институт радиоизмерительных приборов». Однако разработки программ недостаточно. Необходимо создание и развитие отечественных компаний, обеспечивающих разработку, производство и серийное сопровождение микроэлектронного технологического оборудования и расходных материалов в объемах, необходимых отечественным производителям микроэлектроники.

ТЕМЫ:

Наука и технологии