

1 вопрос

Техпроцесс

Любой процессор (в том числе – графический) «содержит» миллиарды транзисторов. Изначально техпроцесс характеризовал длину затвора транзистора. Это было логично: затвор (как и в целом транзистор) был плоским. Усложнение формы транзистора (а вместе с ним и затвора) привело к тому, что техпроцесс стал усредненным, достаточно условным показателем. Производители процессоров производят измерения техпроцесса по-разному. Значение техпроцесса примерно соответствует размеру транзистора. При прочих равных условиях уменьшение техпроцесса позволяет разместить большее количество транзисторов. Плотность размещения транзисторов в графических процессорах разных производителей различна (но достаточно близка). Практическая ценность уменьшения техпроцесса – увеличение производительности и снижение энергопотребления.

Затвор транзистора — это электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала.

Затвор позволяет управлять током, протекающим через полевой транзистор. В момент подачи напряжения на затвор возникает электрическое поле, которое изменяет ширину р-п-переходов и влияет на величину тока, который протекает от истока к стоку.

Покопать в лазерную сторону вопроса + картинки

Нанометры (нм) - это единица измерения, которая указывает на размеры транзисторов в процессоре. Чем меньше нанометров, тем меньше размеры транзисторов и тем больше их можно разместить на одном кристалле.

Роль нанометров в техпроцессе:

- **Производительность:** Меньшие транзисторы могут переключаться быстрее, что повышает производительность процессора.
- **Энергопотребление:** Меньшие транзисторы потребляют меньше энергии, что снижает тепловыделение и потребление электроэнергии.
- **Стоимость:** На одном и том же кристалле можно разместить больше транзисторов, что снижает себестоимость производства.

2 вопрос

Использовали фотолитографию, то есть буквально вытравливали в кремнии транзисторы через специальные маски мощными лазерами.

И тогда, да и сейчас, именно оборудование для фотолитографии было ограничивающим фактором роста — по сути все упирается в то, насколько маленький объект лазер может вытравить в пластине. И производители чипов быстро смекнули, что этой величиной можно соревноваться, но правда в обратную сторону, чем меньше — тем лучше. **И называли ее техпроцессом.** Да, техпроцесс — это не размер транзистора. Это именно разрешающая способность оборудования — иными словами, какой толщины может быть штрих, оставляемый лазером в кремнии. Ну и так как

в транзисторе самой тонкой областью является затвор, то можно говорить, что техпроцесс — это размер затвора транзистора. Почему этот параметр настолько важен? Чем меньше техпроцесс — тем больше транзисторов можно будет упихнуть в ту же площадь, и **тем быстрее будет работать процессор**. К тому же чем меньше транзистор — тем меньше энергии ему нужно для работы, и тем **энергоэффективнее** получается процессор.

Ранние техпроцессы, до стандартизации NTRS (National Technology Roadmap for Semiconductors) и ITRS, обозначались «xx мкм» (xx микрон), где xx сперва обозначало техническое разрешение литографического оборудования, затем стало обозначать длину затвора транзистора, полшаг линий металла (half pitch) и ширину линий металла. В 1970-х существовало несколько техпроцессов, в частности 20, 10, 8, 6, 4, 3, 2 мкм; в среднем, каждые три года происходило уменьшение шага с коэффициентом 0,7

3 мкм — техпроцесс, соответствующий уровню технологии, достигнутому в 1975 году Zilog (Z80) и в 1979 году Intel (Intel 8086). Соответствует линейному разрешению литографического оборудования, примерно равному 3 мкм.

1,5 мкм — техпроцесс, соответствующий уровню технологии, достигнутому [Intel](#) в 1982 году. Соответствует линейному разрешению литографического оборудования, примерно равному 1,5 мкм.

Обозначения для техпроцессов, внедренных начиная с середины 1990-х годов, были стандартизованы NTRS и ITRS и стали называться «Technology Node» или «Cycle». Реальные размеры затворов транзисторов логических схем стали несколько меньше, чем обозначено в названии техпроцессов 350 нм — 45 нм благодаря внедрению технологий resist-pattern-thinning и resist ashing. С этих пор коммерческие названия техпроцессов перестали соответствовать длине затвора.

350 нм — техпроцесс, соответствующий уровню технологии, достигнутому в 1995—1997 годах ведущими компаниями — производителями микросхем, такими как Intel, IBM, и [TSMC](#). Соответствует линейному разрешению литографического оборудования, примерно равному 0,35 мкм.

1. Фотолитография:

Техпроцесс: Фотолитография - это ключевой этап производства микросхем, на котором создается топология элементов.

Развитие: Переход от оптической фотолитографии к электронно-лучевой (EBL) и рентгеновской (XRL), а также использование многослойных резистов и фазосдвигающих масок.

Темпы: Уменьшение размеров элементов с каждым поколением микросхем (закон Мура).

Лазеры: Лазеры используются в качестве источников света в оптической фотолитографии.

Развитие: Переход от аргоновых лазеров к KrF и ArF эксимерным лазерам, а также использование лазеров на основе фемтосекундных импульсов для улучшения разрешения.

Темпы: Улучшение длины волны излучения и стабильности мощности для повышения точности и производительности.

2. Скрайбирование:

Техпроцесс: Скрайбирование - это процесс резки пластин кремния на отдельные микросхемы.

Развитие: Использование алмазных резцов и механических станков.

Темпы: Улучшение точности и скорости резки.

Лазеры: Лазеры используются для скрайбирования с помощью лазерной абляции.

Развитие: Использование лазеров с высокой мощностью и короткими импульсами для минимизации теплового воздействия на материал.

Темпы: Улучшение точности, скорости и качества реза.

3. Сварка:

Техпроцесс: Сварка - это процесс соединения металлических проводников в микросхемах.

Развитие: Использование ультразвуковой сварки, термокомпрессионной сварки и сварки с помощью точечной плазмы.

Темпы: Улучшение прочности соединений и скорости процесса.

Лазеры: Лазеры используются для лазерной сварки.

Развитие: Использование лазеров с высокой мощностью и короткими импульсами для минимизации теплового воздействия на материал.

Темпы: Улучшение прочности соединений, скорости процесса и качества сварки.

4. Диагностика:

Техпроцесс: Диагностика - это процесс обнаружения дефектов в микросхемах и контроля качества производственных процессов.

Развитие: Использование автоматизированных оптических и электронных микроскопов, а также методов неразрушающего контроля.

Темпы: Улучшение точности и скорости диагностики.

Лазеры: Лазеры используются для лазерной спектроскопии, интерферометрии и других методов неразрушающего контроля.

Развитие: Использование лазеров с высокой мощностью и короткими импульсами для повышения чувствительности и разрешения.

Темпы: Улучшение точности, скорости и информативности диагностики.

Вывод:

Развитие лазеров и техпроцесса в микроэлектронике взаимосвязаны, но каждая область имеет свои уникальные технологии и темпы развития. Лазеры играют ключевую роль в повышении точности, скорости и качества производственных процессов, что делает их незаменимым инструментом в современной микроэлектронике.

3 вопрос

Технические характеристики лазерных технологий играют важную роль в определении их эффективности и возможностей применения.

Длина волны лазера определяет его способность взаимодействовать с определенными материалами. Выходная мощность влияет на скорость и интенсивность обработки.

Режим работы лазера – непрерывный или импульсный – определяет его возможности в различных приложениях.

меньше длина волны больше разрешение и меньше техпроцесс глубокая ультрафиолетовая литография с 90х до 2019 года - использование процесса (DUV {deep ultra violet } -литография)

фторит аргоновый лазер (испускает свет длиной волны 193 нм

(лежит в области глубокого ультрафиолета отсюда и название

проходит через систему линз + маску и попадает на наш кристалл покрытый фоторезистом создавая необходимый рисунок.

лямбда - длина волны

CD - critical dimension (т.е. минимальный размер получаемой структуры)

k1 - коэффициент, зависящий от конкретного процесса

NA- Numerical aperture, параметры конкретных линз

меньше длина волны —> выше разрешение

с помощью этого лазера не получить структуры меньше 50 нм

но как производители делают процессоры меньше чем 50 нм

вместо одного засвета через единую маску стали использовать несколько масок с разными рисунками которые дополняют друг друга (множественное экспонирование)

но чем больше слоев тем больше процент брака

на место DUV приходит EUV (deep —> extreme)

обе картинки получены с помощью 7нм техпроцесса , но слева DUV+Экспонирование а справа EUV с 1 маской

границы четче, брака меньше -> дешевле

EUV - свет с длиной волны 12.5 нм

находится на нижней границе ультрафиолетового спектра близко к рентгену

после 5 нм - попадаем в квантовые вычисления

для EUV придумали идеально гладкие линзы, которые не будут поглощать такую короткую волну, что очень сложно. Ничего не должно выпирать больше чем 1 нм

шероховатость линзы <0.5 нм

изготавливают такие линзы компания zeiss

2 проблема свет рассеивается в воздухе

для решения этой проблемы нужен вакуум(все производство идеально чистое, а также в машинах выкачивается воздух)

3 проблема - нет такого источника света с такой длиной волны в природе

для этого используется плазма - разогревается оловянный пар до температуры в 100 раз больше температуры поверхности Солнца

установлен углекислотный лазер

drumprf - немцы + саймер - американцы

стреляет по 2 импульса с частотой 50 кГц

лазер стреляет в озере —> превращает в "блин", а второе попадание поджигает. происходит это 50 тысяч раз в секунду и как раз таки выделившееся плазма выделяет EUV

ASML - стоит за EUV (она собрала аппарат стоимостью в 120 000 000 долларов

180 тонн мегаватт энергии

полторы тонны воды в минуту для охлаждения

в год таких производят несколько десятков в ASML работают также наши соотечественники

ASML своего рода конгломерация множества компаний, т.к. эти аппараты состоят из 1000 деталей различных производителей. Также эти машины производят процессоры для компаний как intel samsung и других

уже делаются процессоры с техпроцессом в 5 нм

в будущем техпроцесс все также будет уменьшаться, пока мы снова не в режимся в физические ограничения

High NA UEV - высокоапертурная экстремальная ультрафиолетовая литография