



Molecular Imprints

**Обзор S-FIL нано-импринт
литографии и последние результаты
для CMOS и
других нано- приложений**

**Нияз Хуснатдинов
Molecular Imprints, Inc.**

План доклада

- 4 Введение**
- 4 Принцип S-FIL литографии**
- 4 Описание технологии и последние достижения в производстве штампов**
- 4 Imprio I-250, характеристики на сегодняшний день и перспективы развития.**
 - Точность совмещения штампа и подложки
 - Количество дефектов
 - Производительность
- 4 Краткое сравнение планов развития ИМ и технологий хранения памяти**
- 4 Планы развития S-FIL литографии**
- 4 Различные приложения S-FIL литографии**
- 4 Заключение**

Введение. Немного истории

- EUVL: В конце 1980-х
- EPL: Началась около 1990
- MBDW: Началась в 1980-х
- 193 Immersion: Создание началась около 2001

Imprint Lithography

- 1041 Изобретение глиняных набираемых огранков в Китае.
- 1436 Гутенберг начал разработку книгопечатного пресса.
- 1440 Гутенберг закончил пресс с металлическими огранками.
- 1455 Гутенберг закончил печатание библии с 42 строками на страницу.
- 1455 Гутенберг разорился из-за ссоры с инвесторами.
- 1457 Город Майнц становится столицей книгопечатания
- 1462 Война с епископом Насау заставила всех книгопечатников бежать, и таким образом распространить книгопечатание в Европе
- 1499 Книгопечатание распространилось в более чем 250 городах Европы.

*Пресс
Гутенберга* →

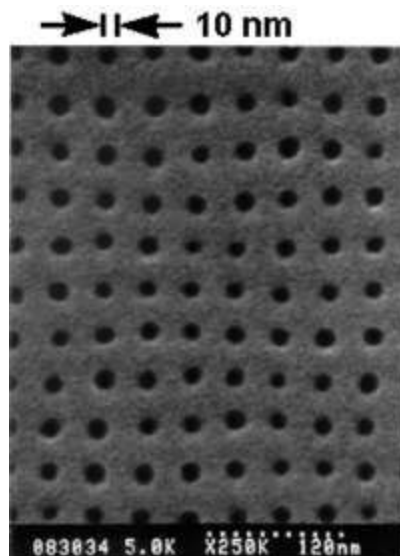


Продолжение введения.

4 В XX веке широкое распространение получило печатание грампластинок



4 В 1994 году Стив Чу продемонстрировал возможность использования импринт литографии для получения nano-структур

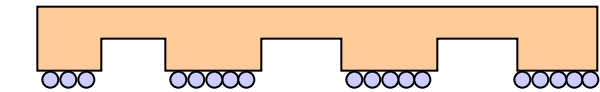


Примеры импринт литографии

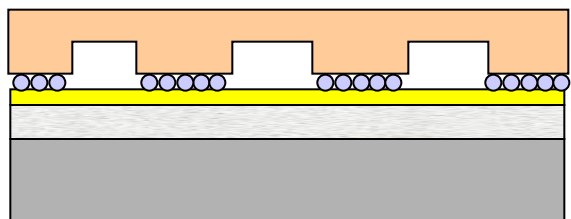
Мягкая литография*

Whitesides, Harvard,

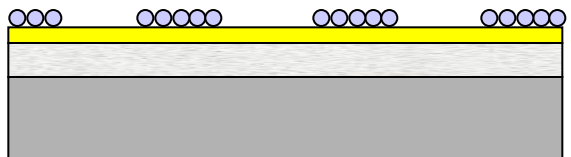
http://gmwgroup.harvard.edu/research_simpnanotech.html



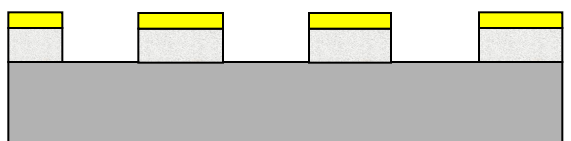
1. PDMS печать с тиолом



2. Привод в контакт



3. Молекулы переходят



4. Перенос рисунка

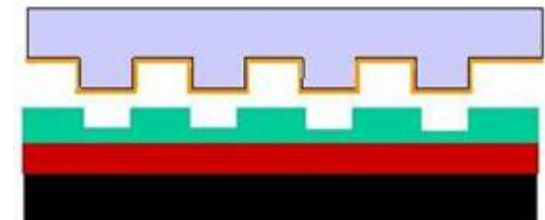
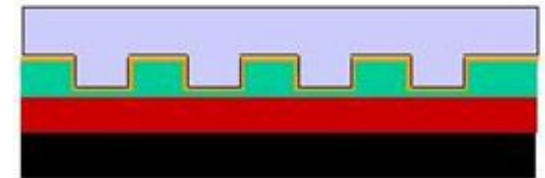
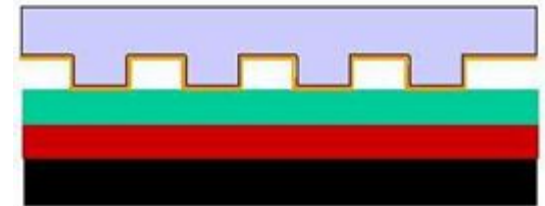
Molecular Imprints Confidential

Термическая литография

Chou, Princeton University

<http://www.princeton.edu/~chouweb/>

- Поместить штамп на подложку с двумя слоями
- Приложить высокое давление при высокой температуре
- Отделить печать от подложки

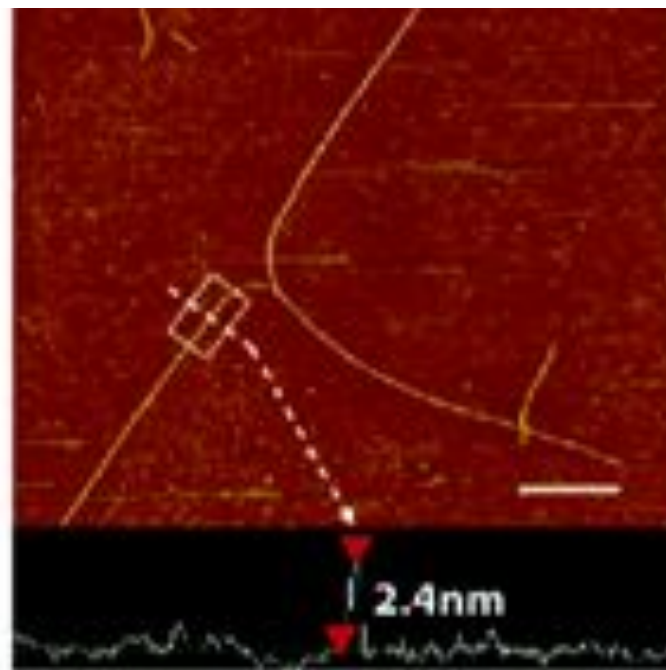


Molecular Imprints

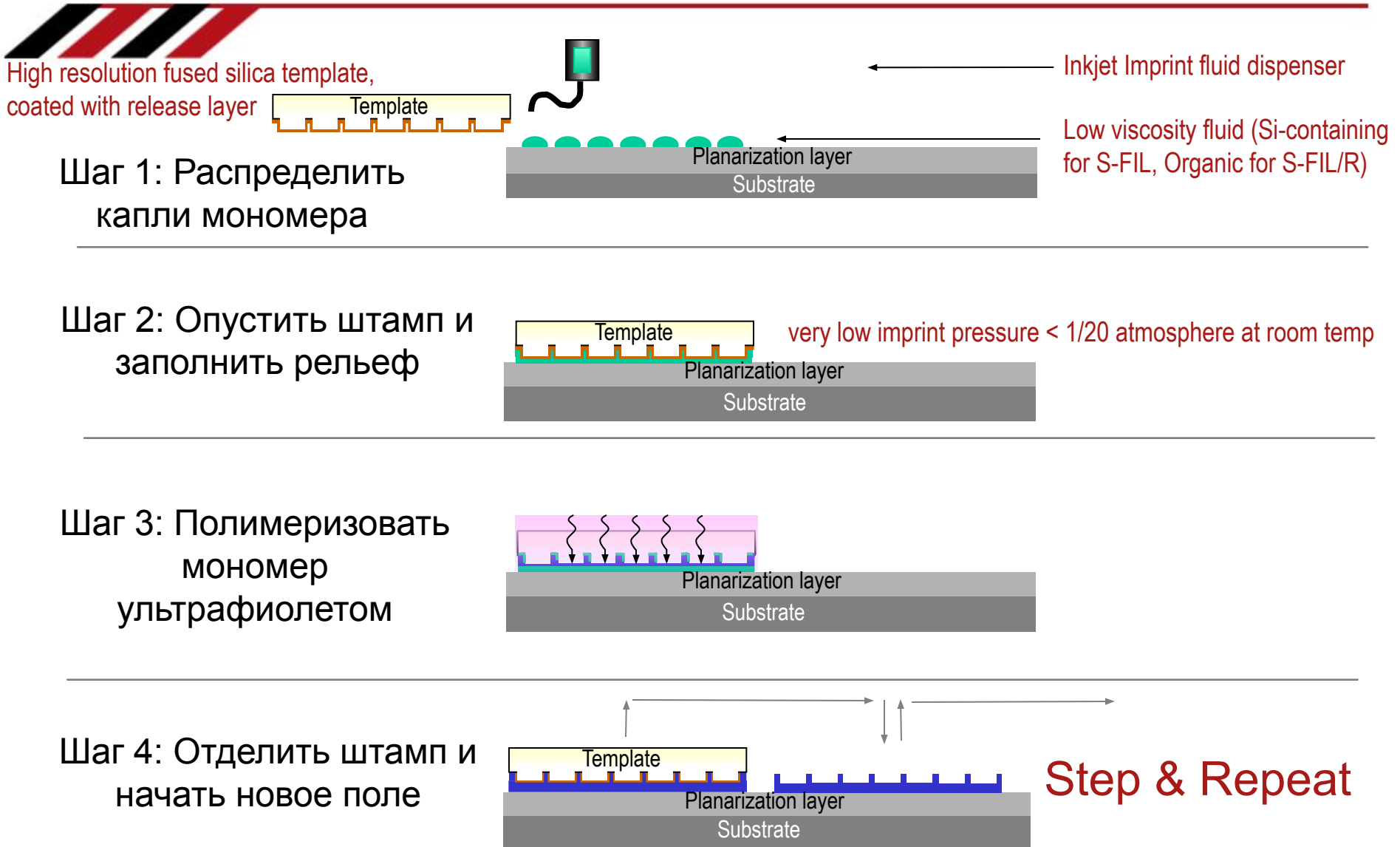
Примеры импринт литографии

- 4 **John A. Rogers, University of Illinois, Urbana-Champaign,**
<http://rogers.mse.uiuc.edu/files%5C2006%5Cieeenano.pdf>

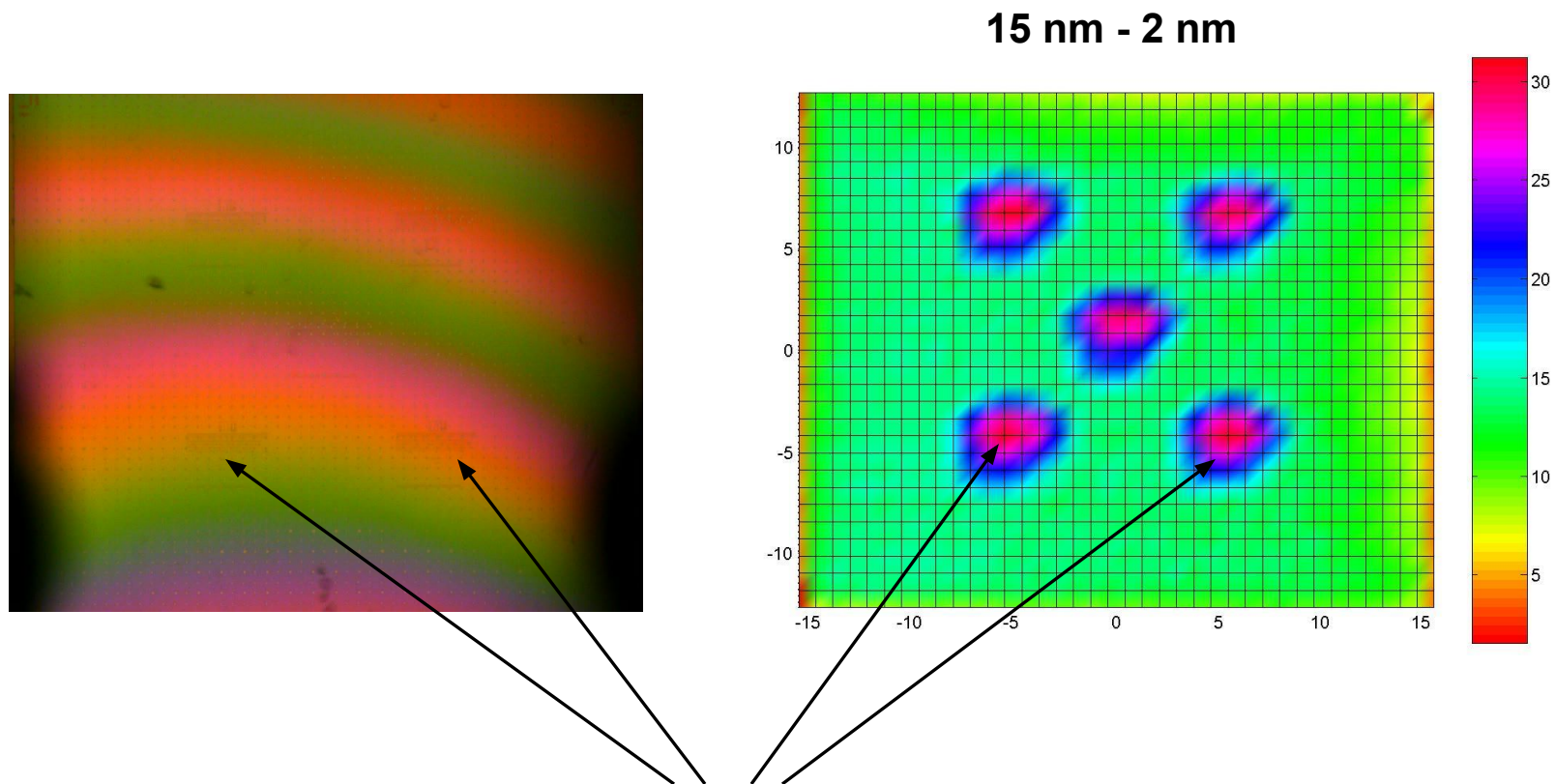
Печатание с помощью штампа сделанного из углеродной нанотрубки достигло разрешения 2.4 нм. При этом использовался полимер затвердевающий под воздействием ультрафиолета



MII: Step & Flash™ Импринт Литография (S-FIL)



Динамика и однородность напечатанного слоя



Набор линий разных размеров в данных местах влияет на точность измерения толщины напечатанного слоя методом интерференции. Измерение профиля оттиска в электронном микроскопе дает те же 15 нм.

S-FIL и S-FIL/R процессы

S-FIL and S-FIL/O

Шаг 1: Удаление остаточного слоя

Напечатанные
структуры



Шаг 2: Удаление планаризационного
слоя



Преимущества метода:

- 4 Удобен для плоских подложек
- 4 Возможность хорошего совмещения рисунков

Molecular Imprints Confidential

S-FIL/R

Шаг 2: Нанесение кремнесодер-
жащего планаризационного
слоя



Шаг 3: Травление до открытия
структур



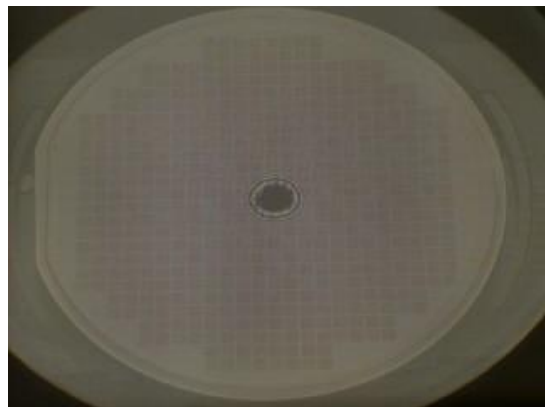
Шаг 4: Травление в O2
плазме



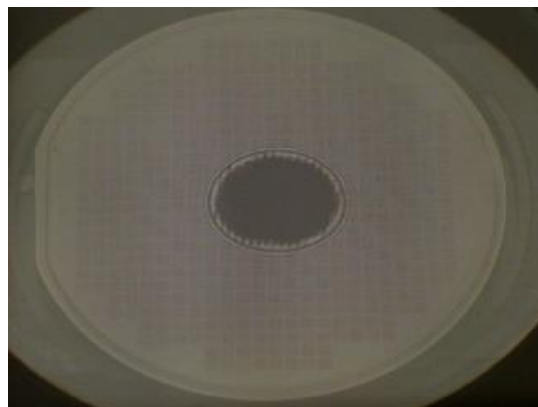
Преимущества метода:

- 4 Идеален для неплоских подложек
- 4 Меньше вариация размеров структур

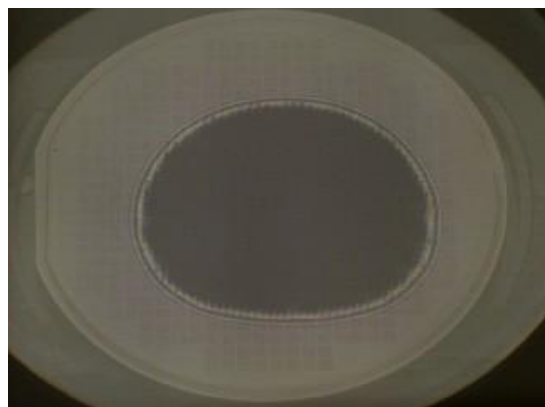
Гибкая печать на сапфире, 100 мм



3 сек



5 сек

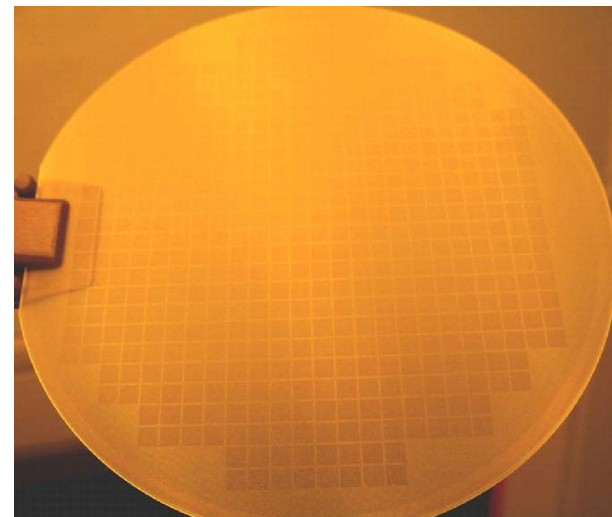


9 сек



15 сек

Результат



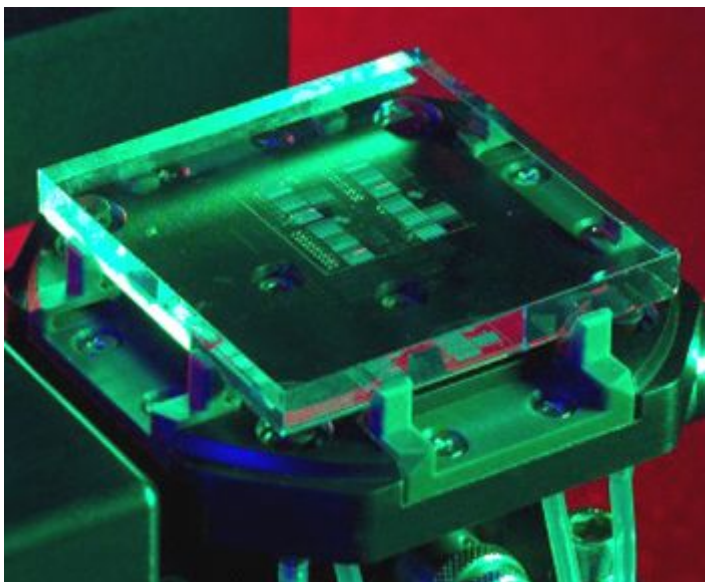
- 4 Подстраиваемая под конкретную топографию
- 4 Производительность >25 пластин/час
- 4 Остаточный слой: $23 \text{ nm} \pm 4.4 \text{ nm}$

Гибкая печать на сапфире, 100 мм



S-FIL Импринт Литография

Успешное внедрение требует штамп и импринт установку



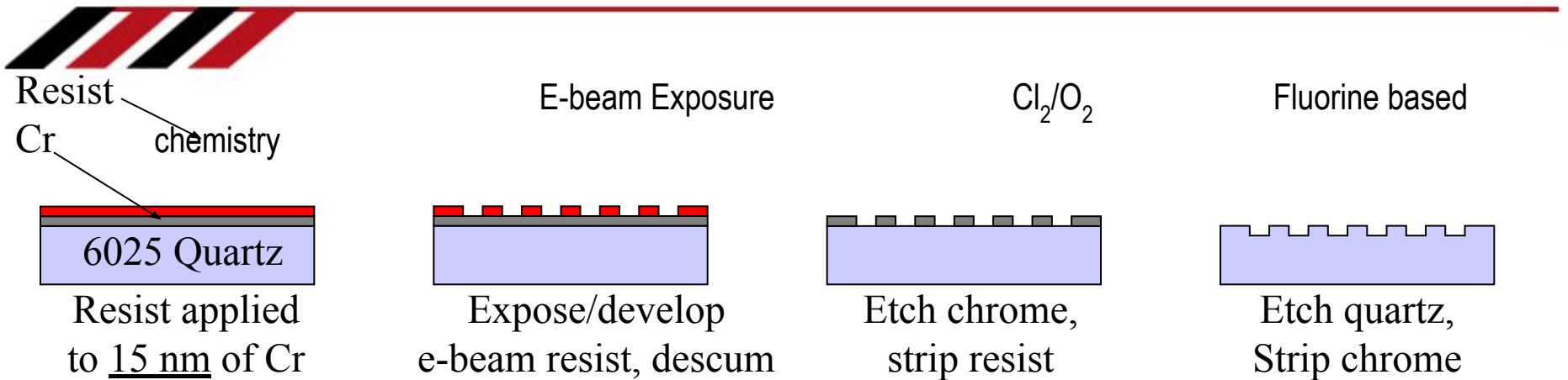
65 x 65 mm штамп
для поля 26 мм x 33 мм



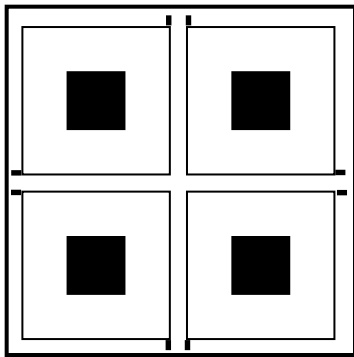
Разрешающая способность импринт литографии определяется разрешением нано-штампа


IMPRIО
250

Производство nano-штампа. Стартовый процесс.

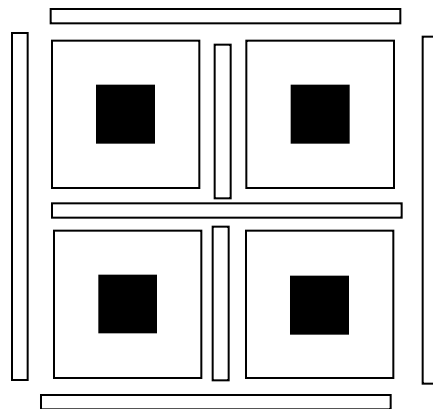


6025 Photomask
(with 4 patterned templates)



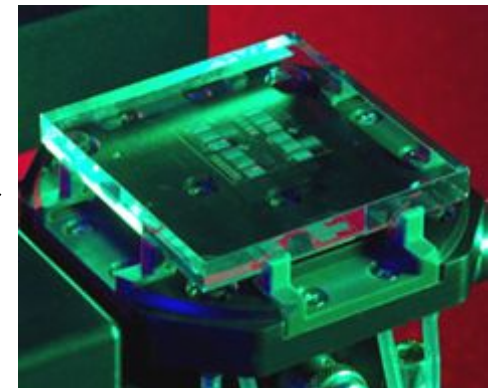
Pattern

Post Dice
(4 templates & discarded glass)



Dice

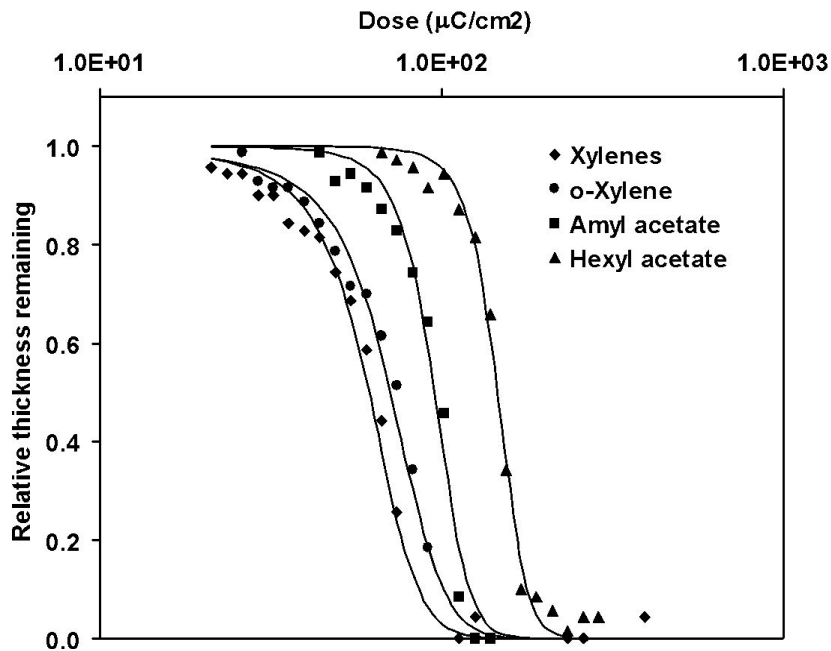
Templates
(4 templates)



Final 65 mm Template

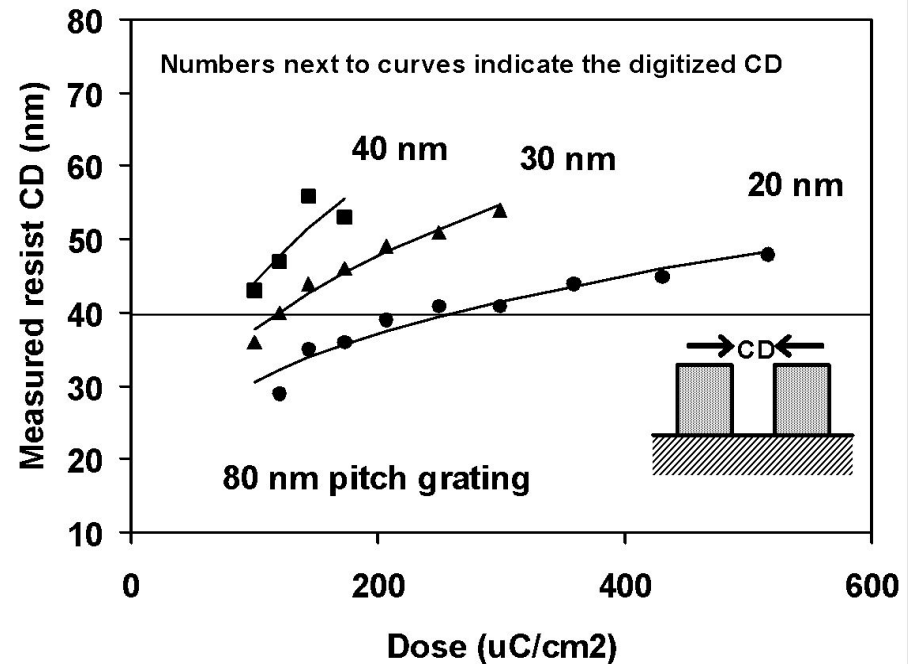
Развитие процесса с использованием положительного резиста ZEP520

4 Контраст и чувствительность для разных проявителей



Amyl Acetate дает лучшую комбинацию чувствительности и контраста

4 Ширина линий в зависимости от дозы экспозиции при различных диаметрах электронного пучка



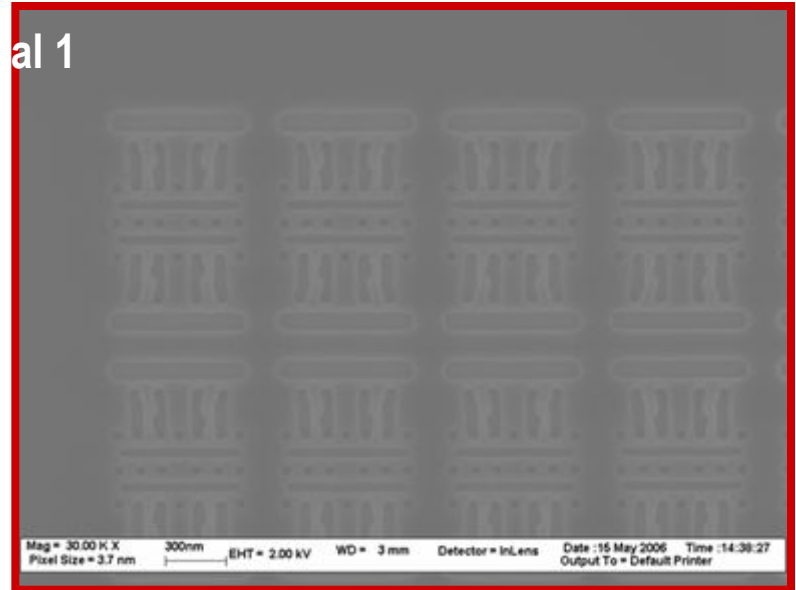
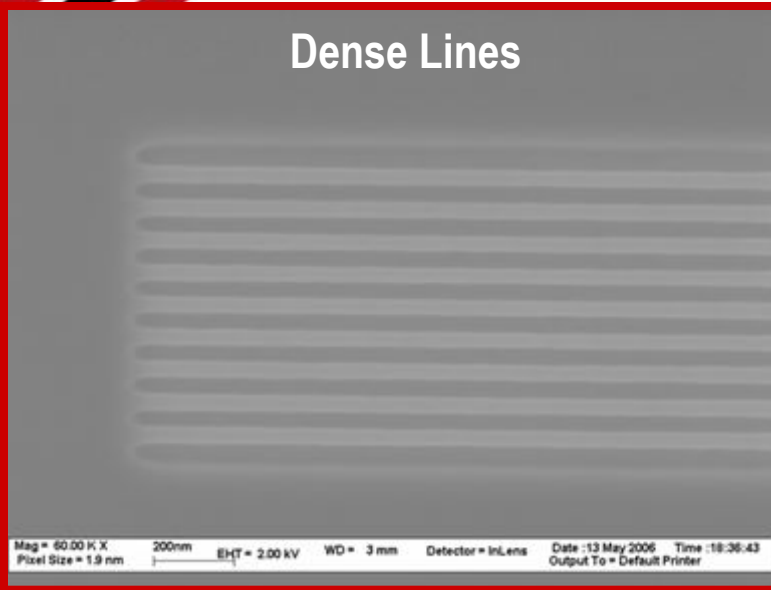
Чувствительность к изменению дозы уменьшается в увеличении bias

ZEP520A: Bias = -18nm, Штамп

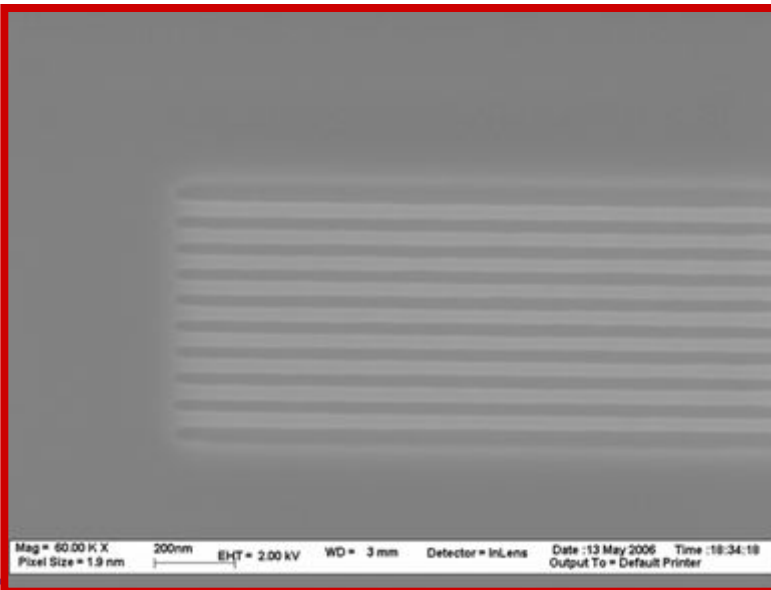
Dense Lines

al 1

32nm

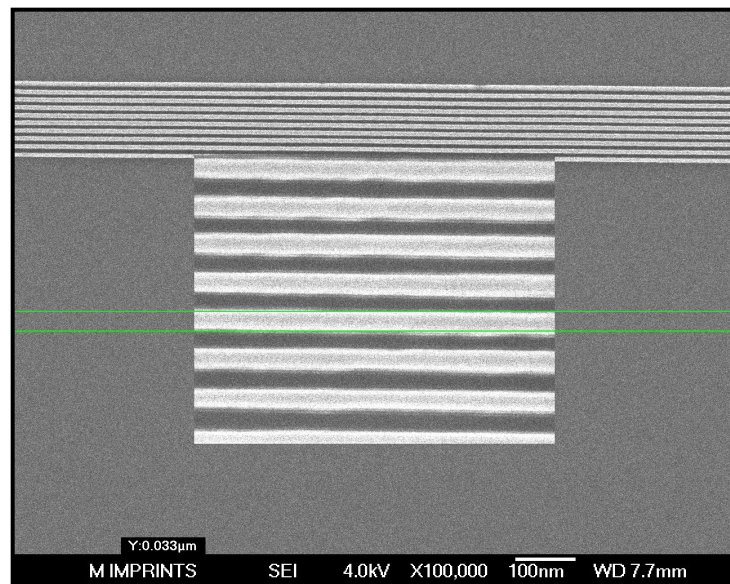
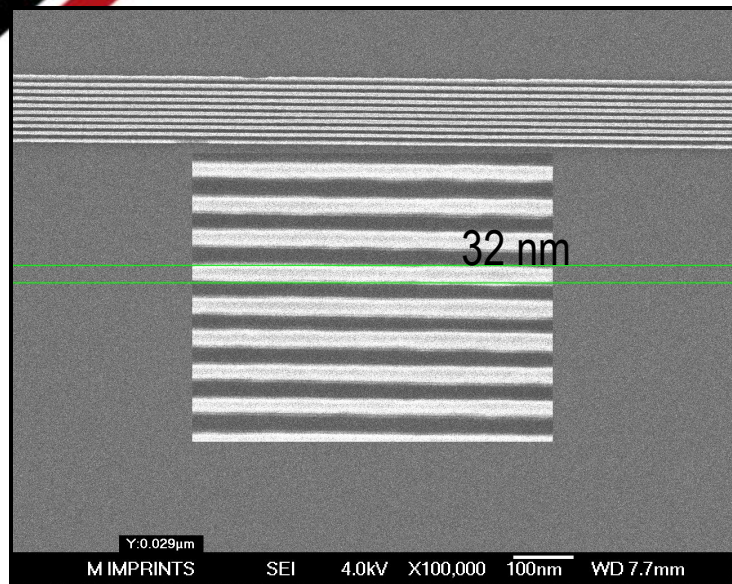


28nm

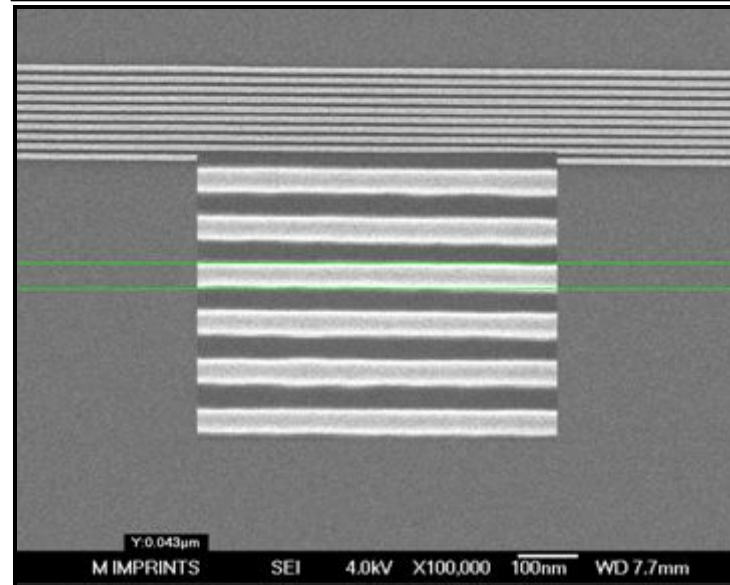
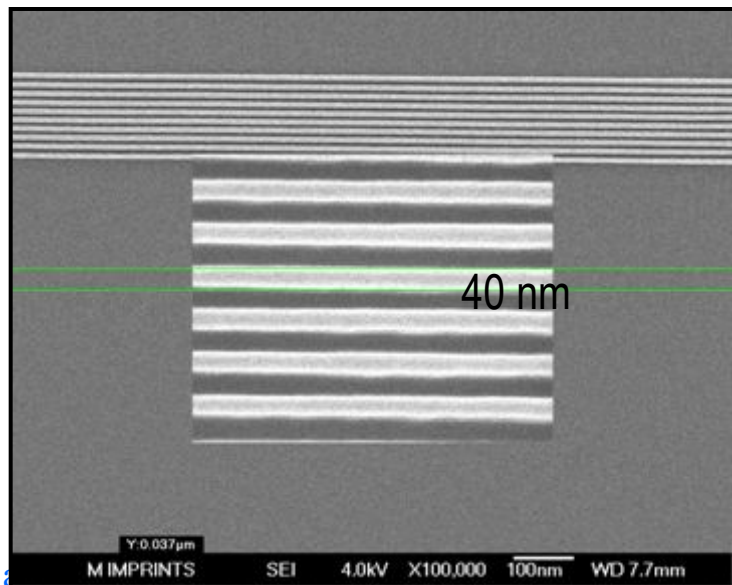


Отпечатки: -18nm Bias, 28 – 40 nm HP

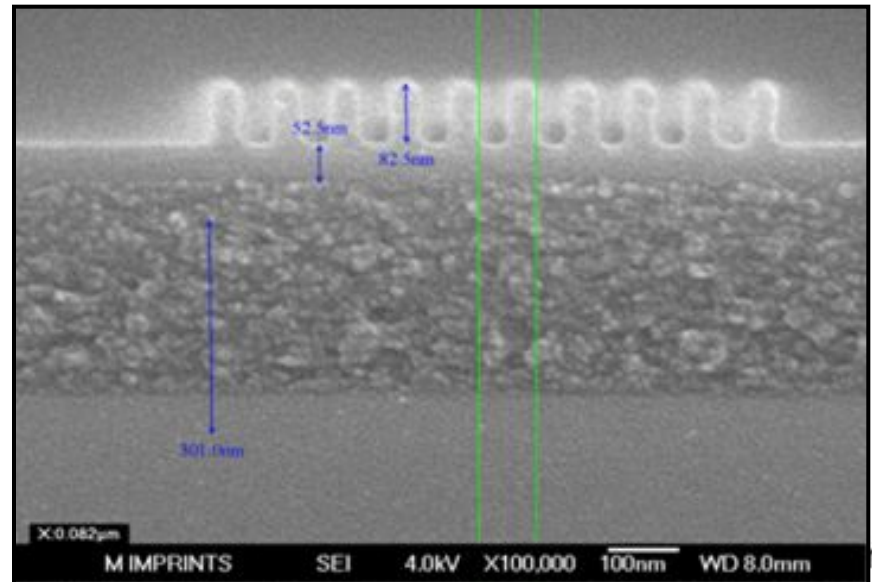
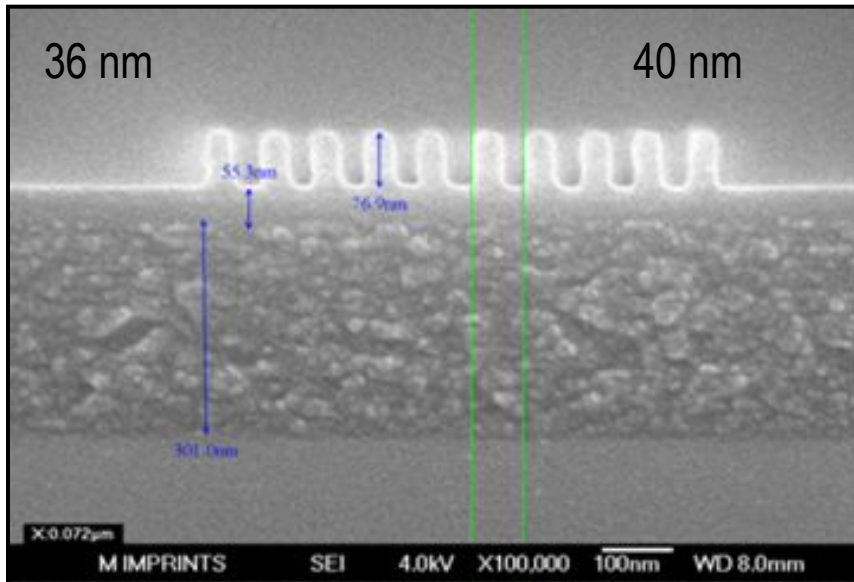
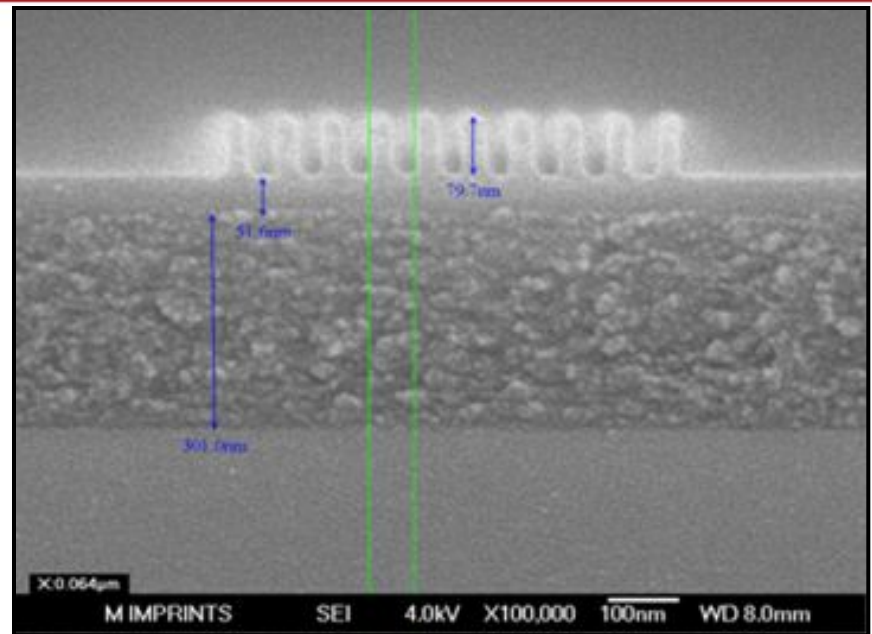
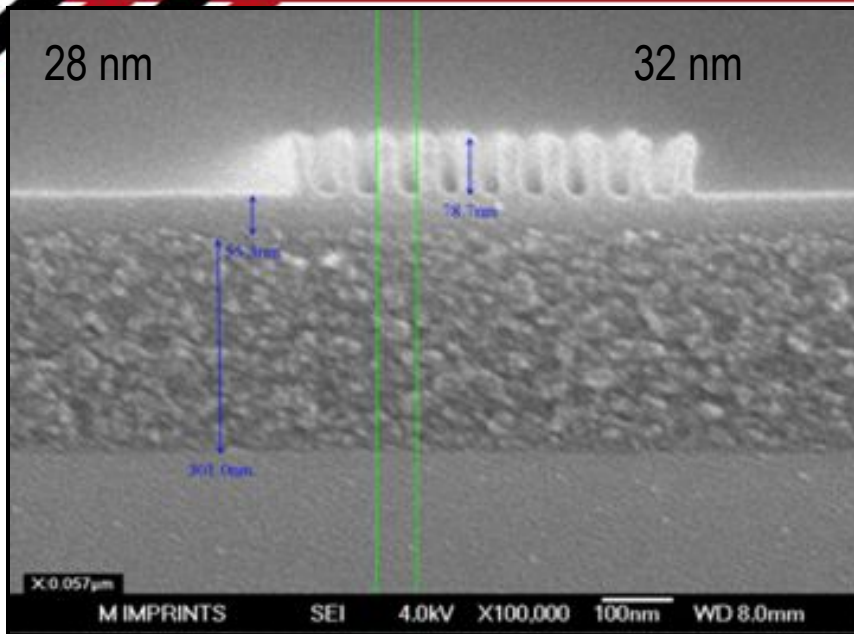
28 nm



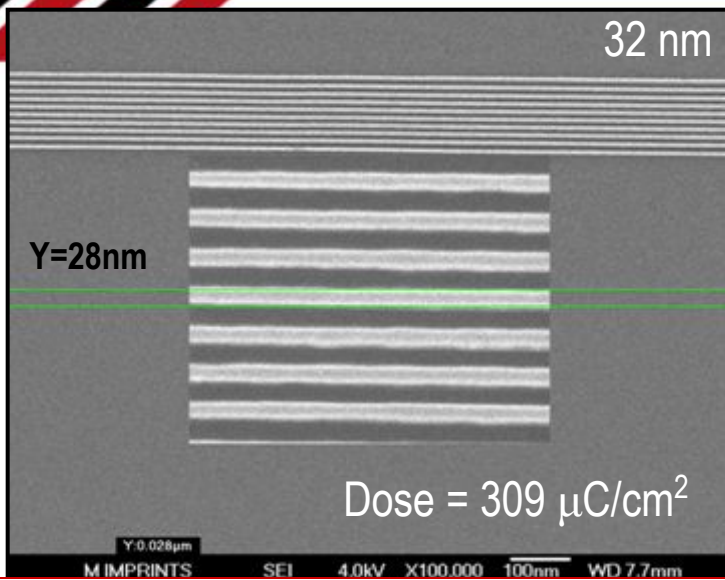
36 nm



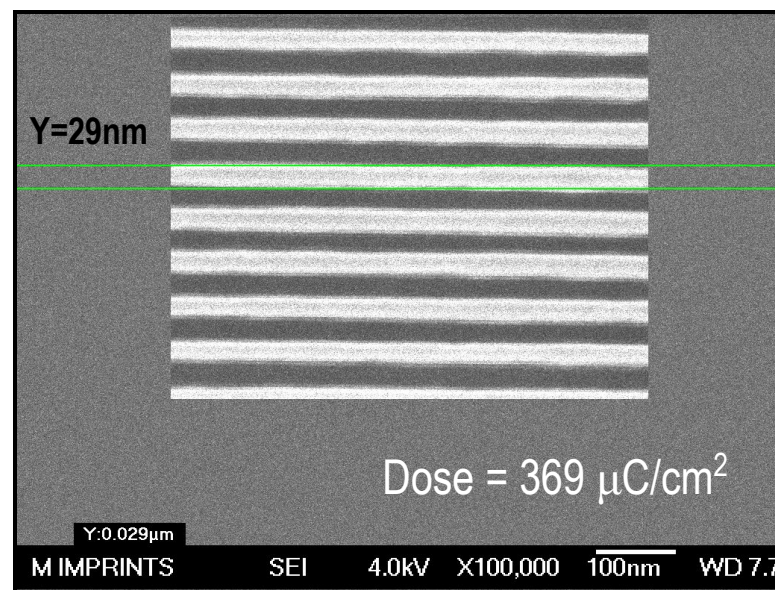
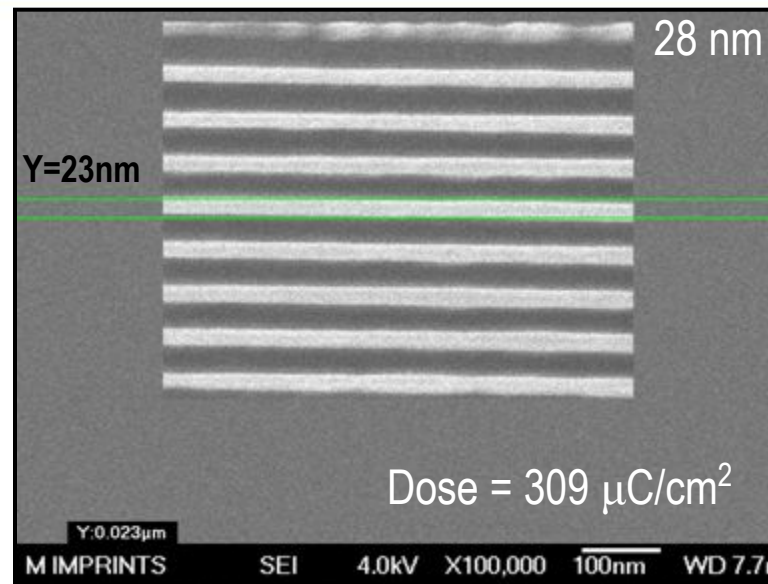
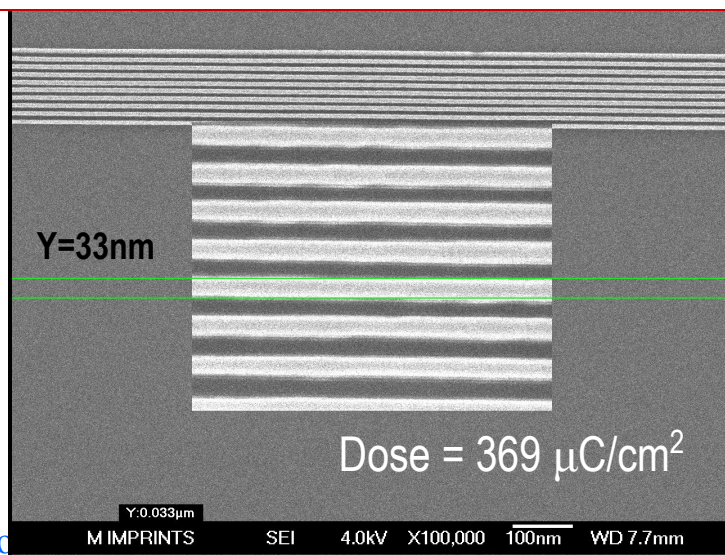
Профиль отпечатков: Bias = -18 nm



28 and 32 nm HP: малая чувствительность к изменению полученной дозы

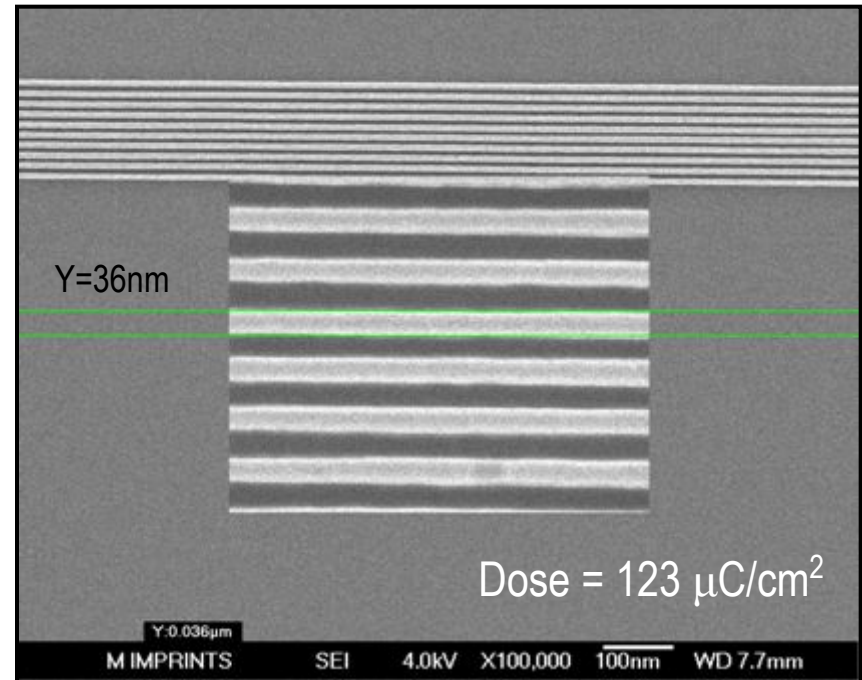
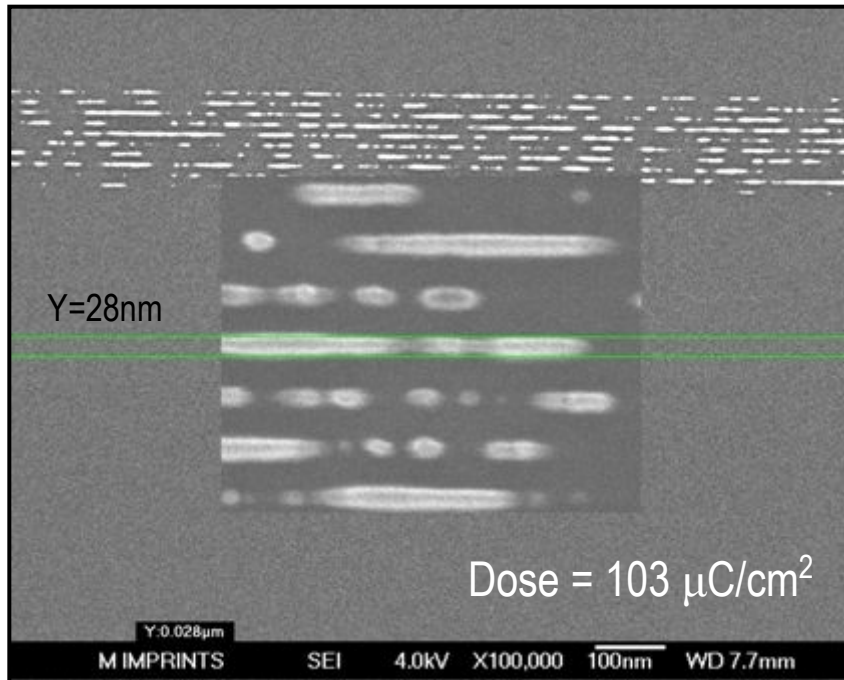


Resolved over dose range of 20%



36 nm Half Pitch: No Bias – Очень чувствительна к изменению дозы

Bias: 0 nm

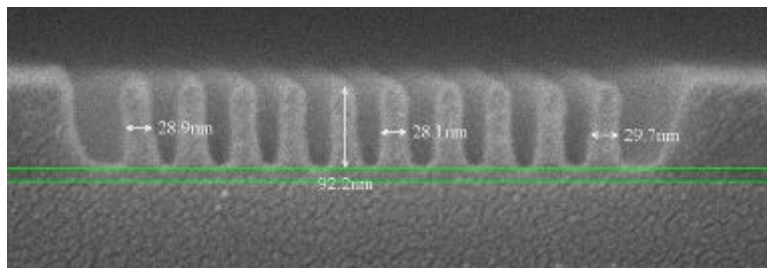


Exposure latitude is severely impacted when feature biasing is not applied

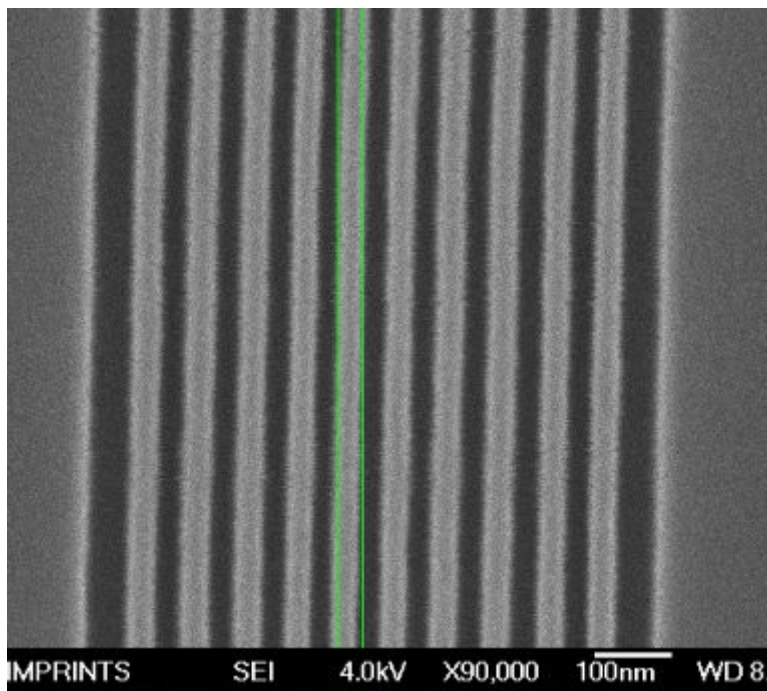
DNP nano-штамп написанный с помощью Гауссова пучка

28nm

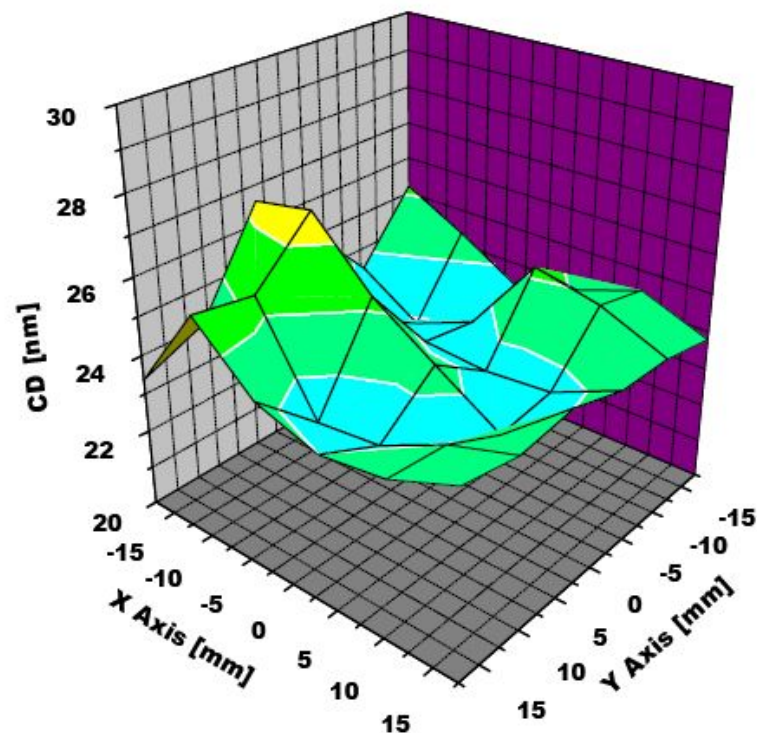
X-section



Top down



CDU at 32nm HP



Average : 24.2nm*
Range : 4.5nm
3sigma : 3.1nm

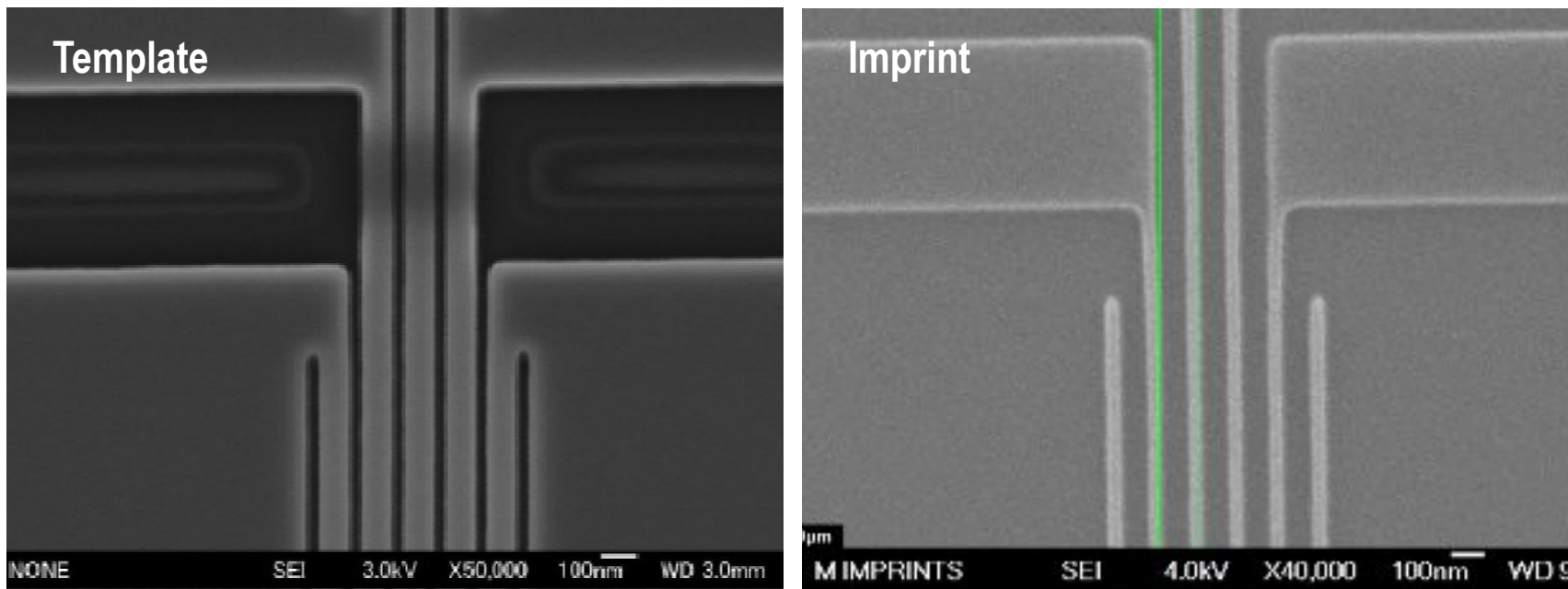
DNP



Molecular Imprints

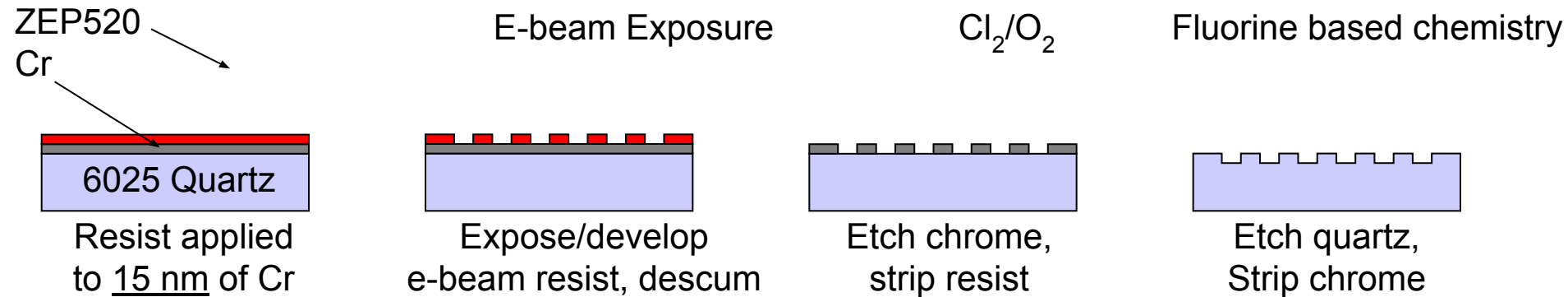
Hoya nano-штамп для памяти с 30 нм Fins

HOYA



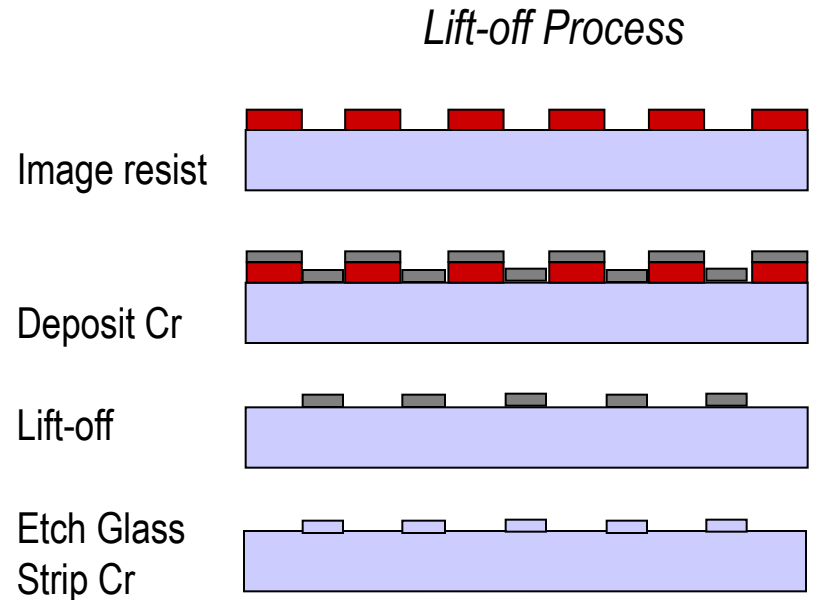
Производство нано-штампа. Путь к меньшим размерам.

4 Стандартный подход

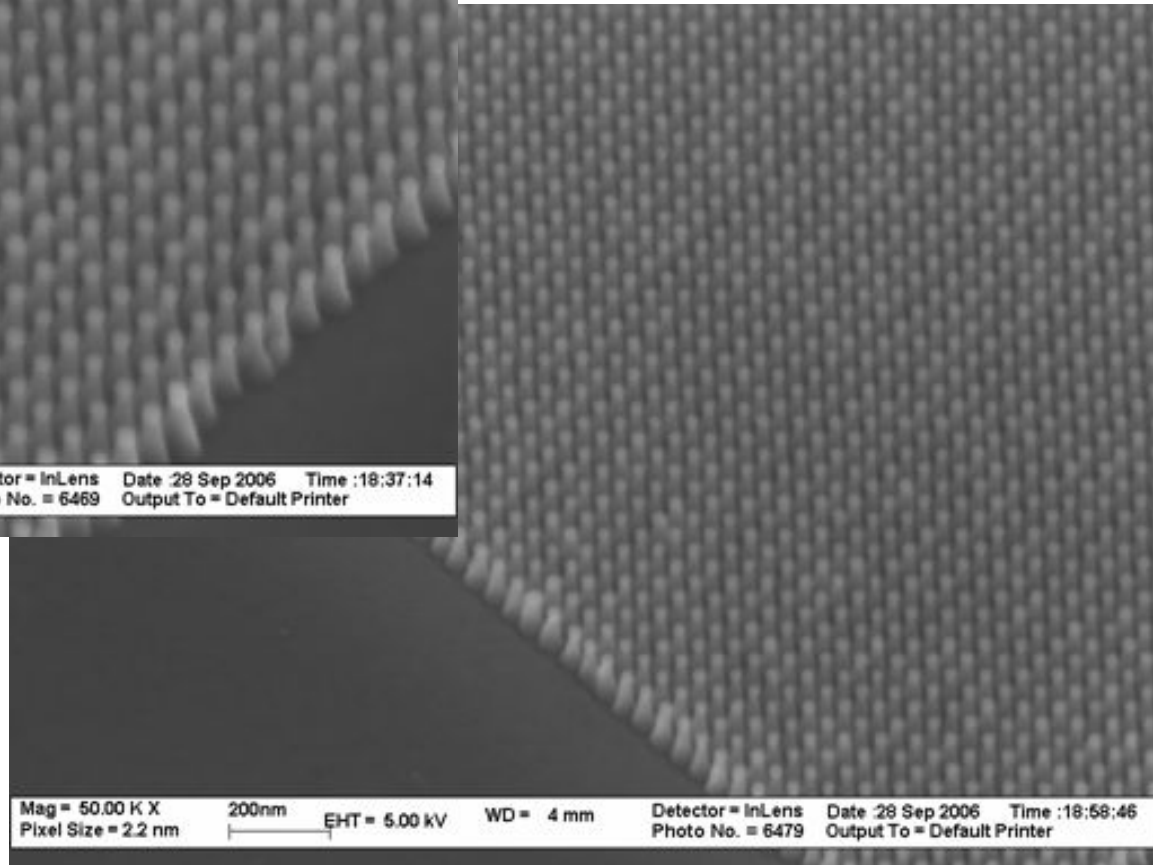
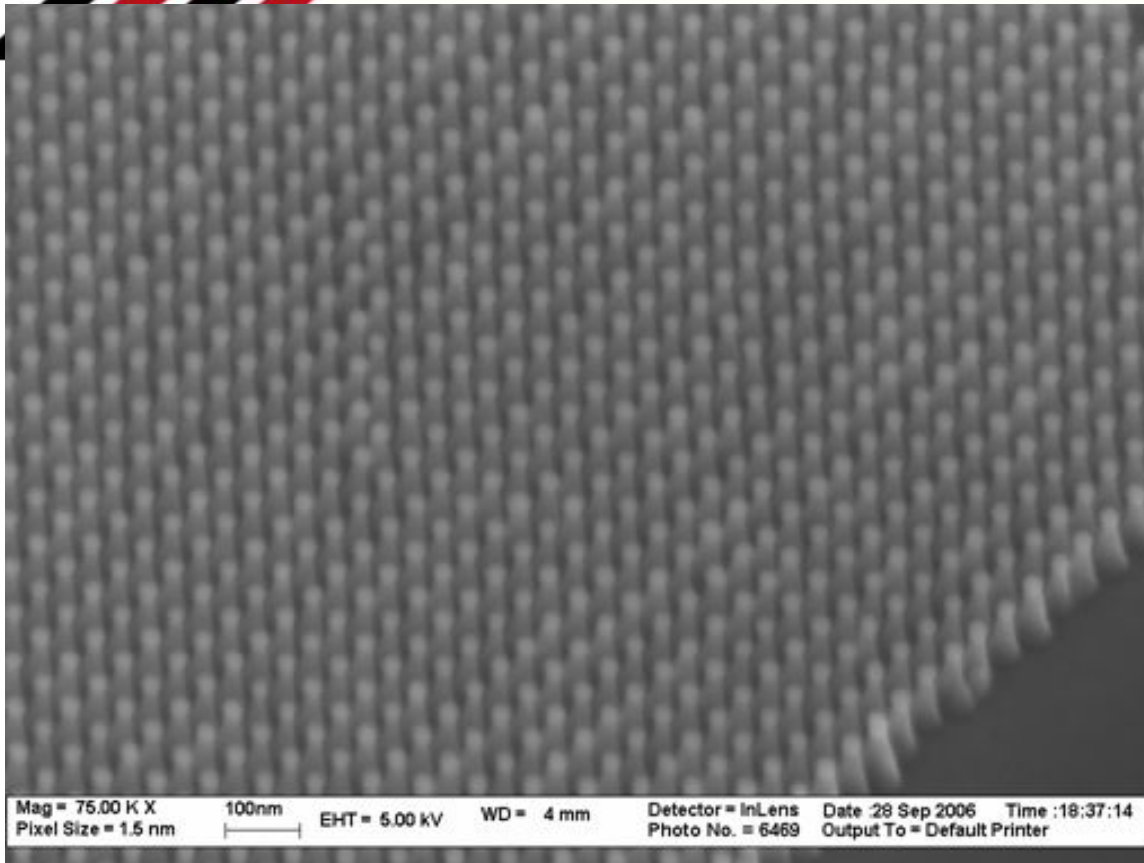


Альтернативные подходы:

- PMMA lift-off
- High Resolution HSQ resist

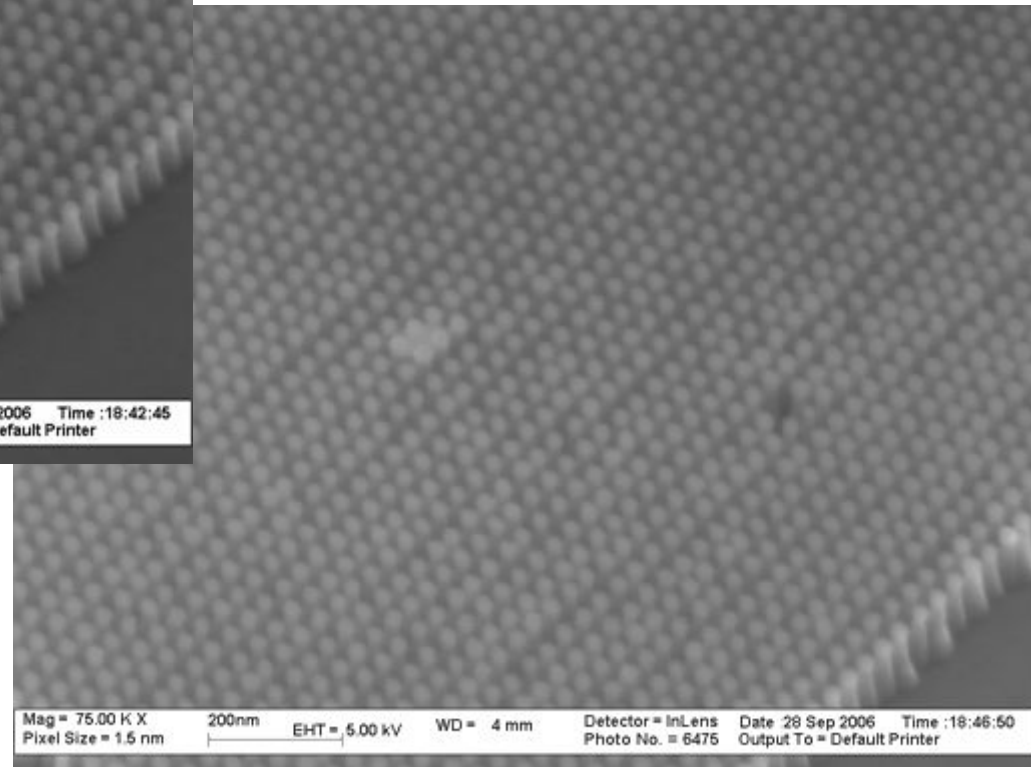
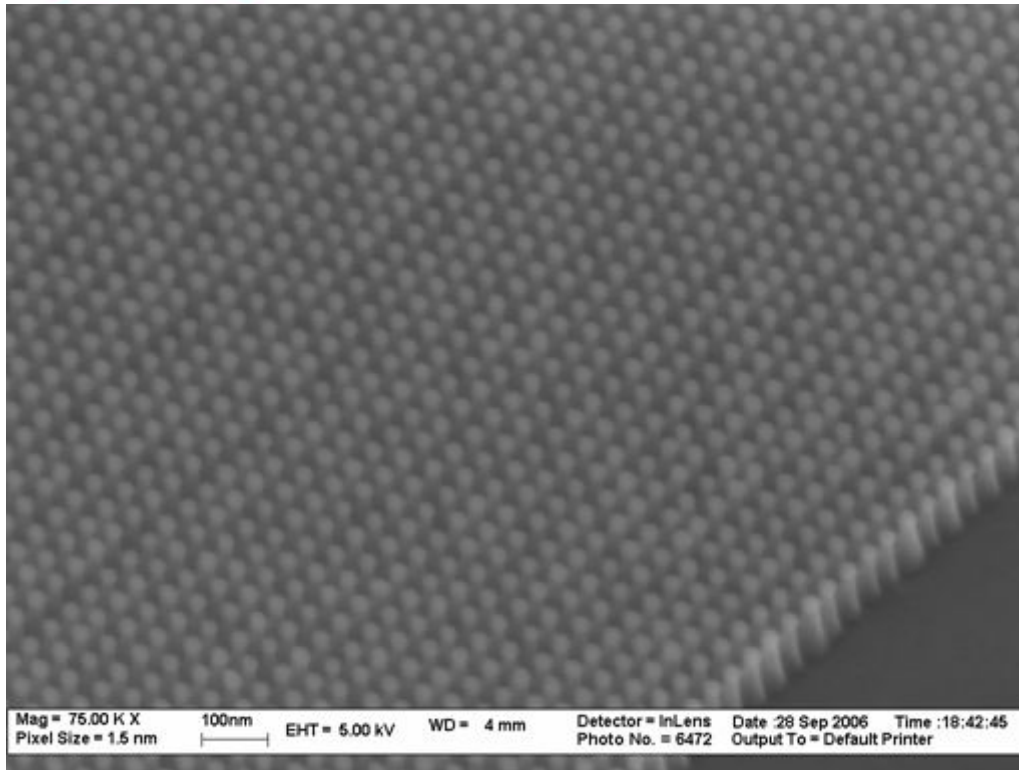


Штамп: 25 нм полупериод

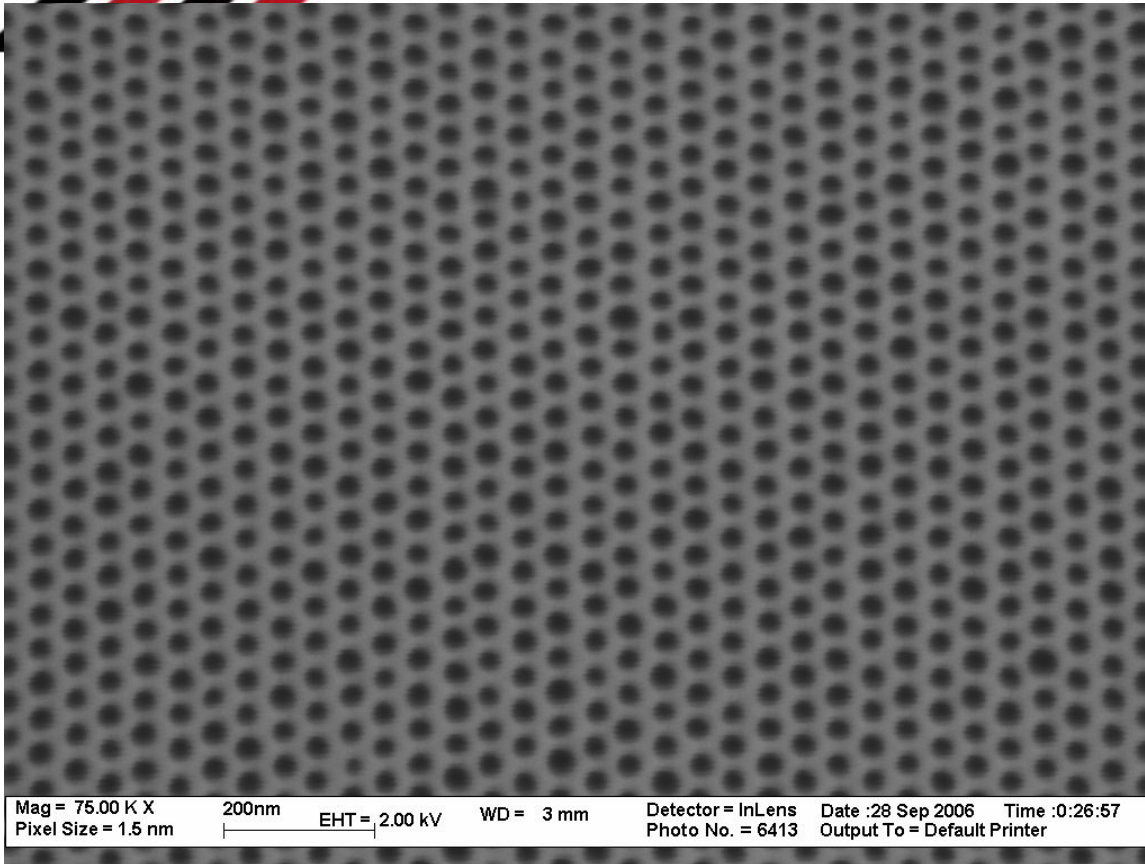


Штампы: полупериоды 19 нм и 21 нм

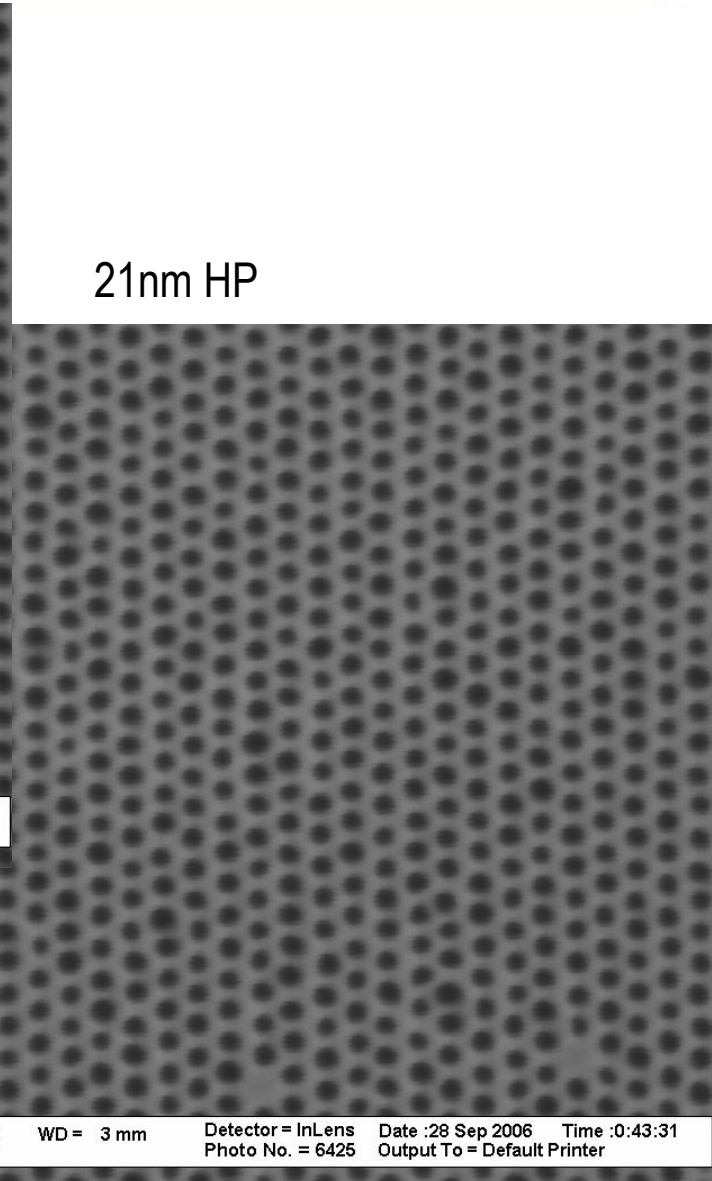
Staggered, 21nm HP



Полученные отпечатки со штампами 23 нм and 21 нм (полупериод)

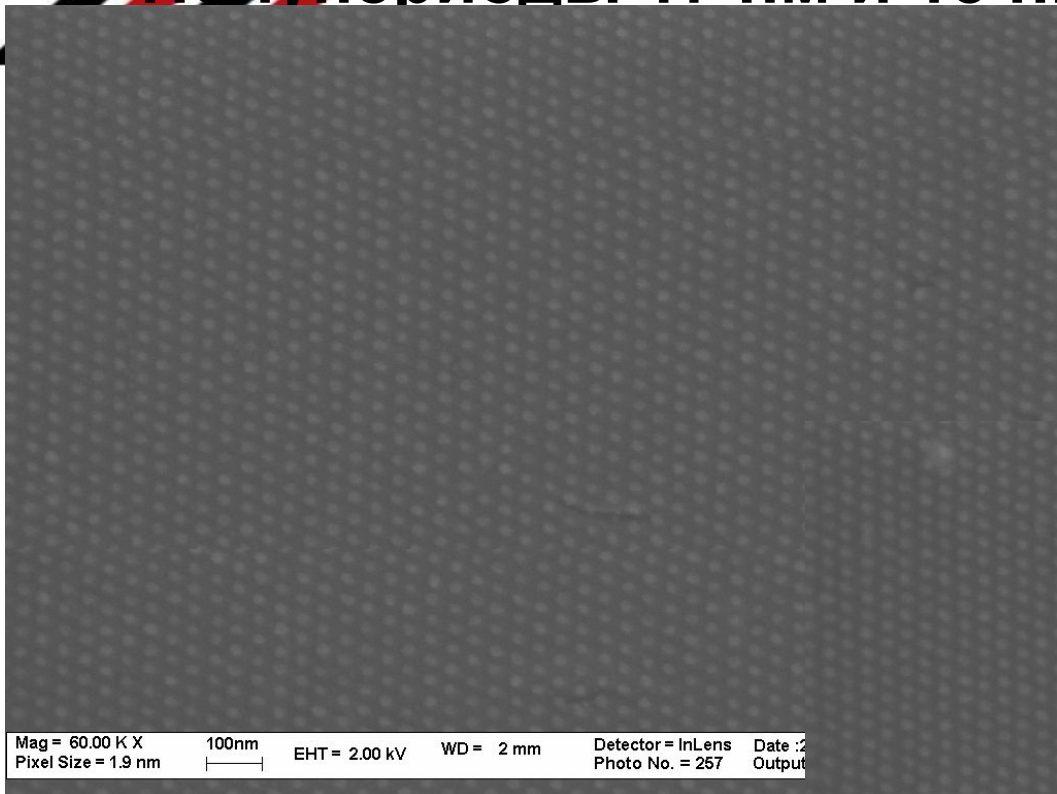


23nm HP



21nm HP

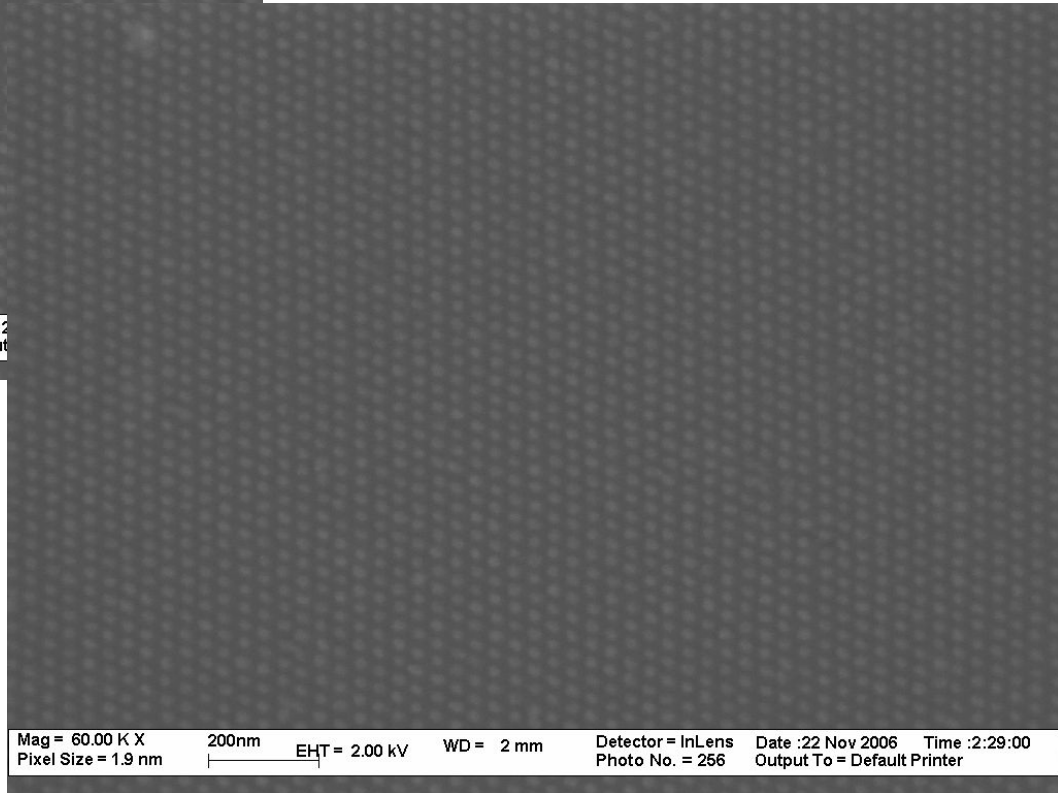
Штамп после удаления хрома, Cr (Lift-off): Полупериоды 17 нм и 15 нм



17nm Half Pitch

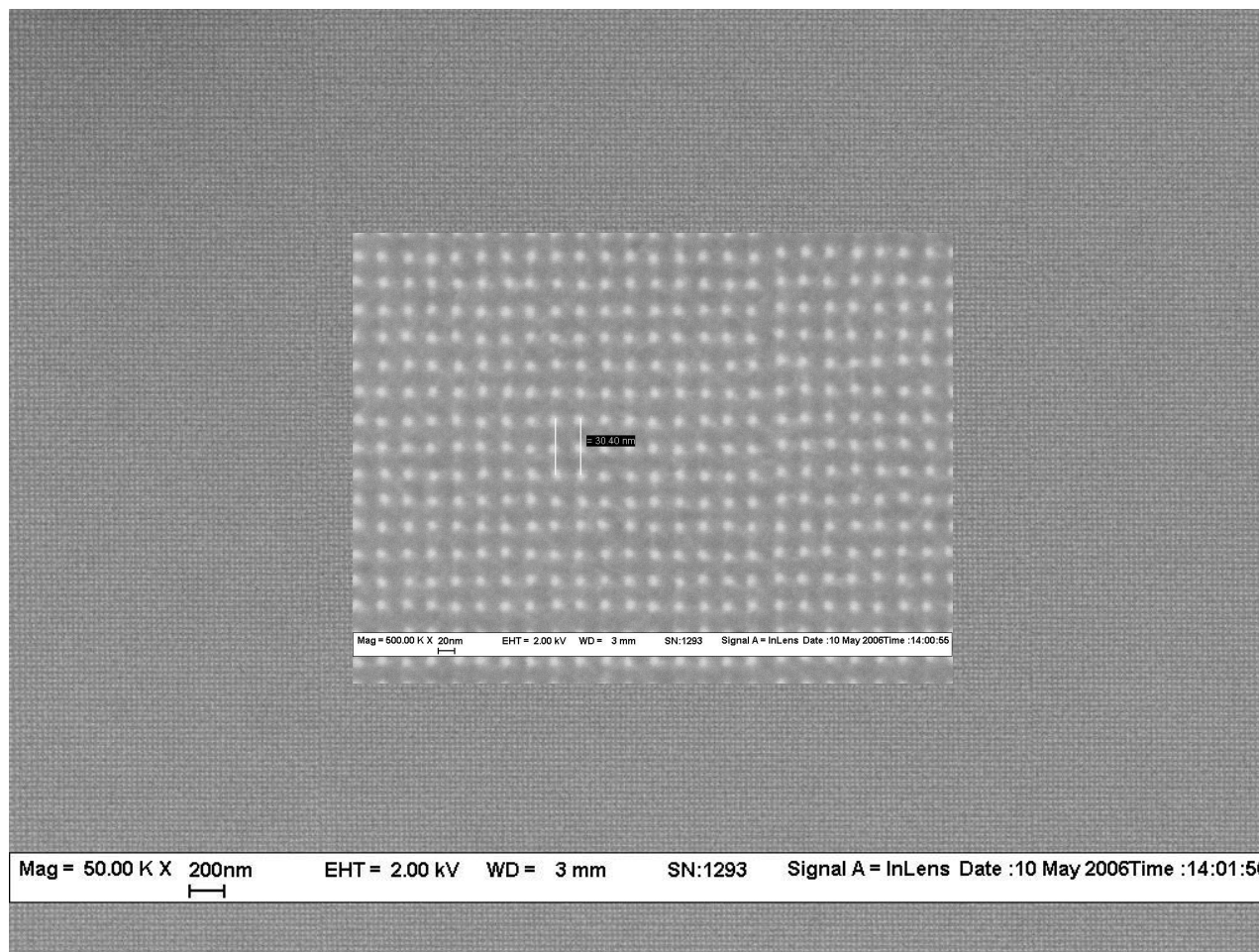


15nm Half Pitch



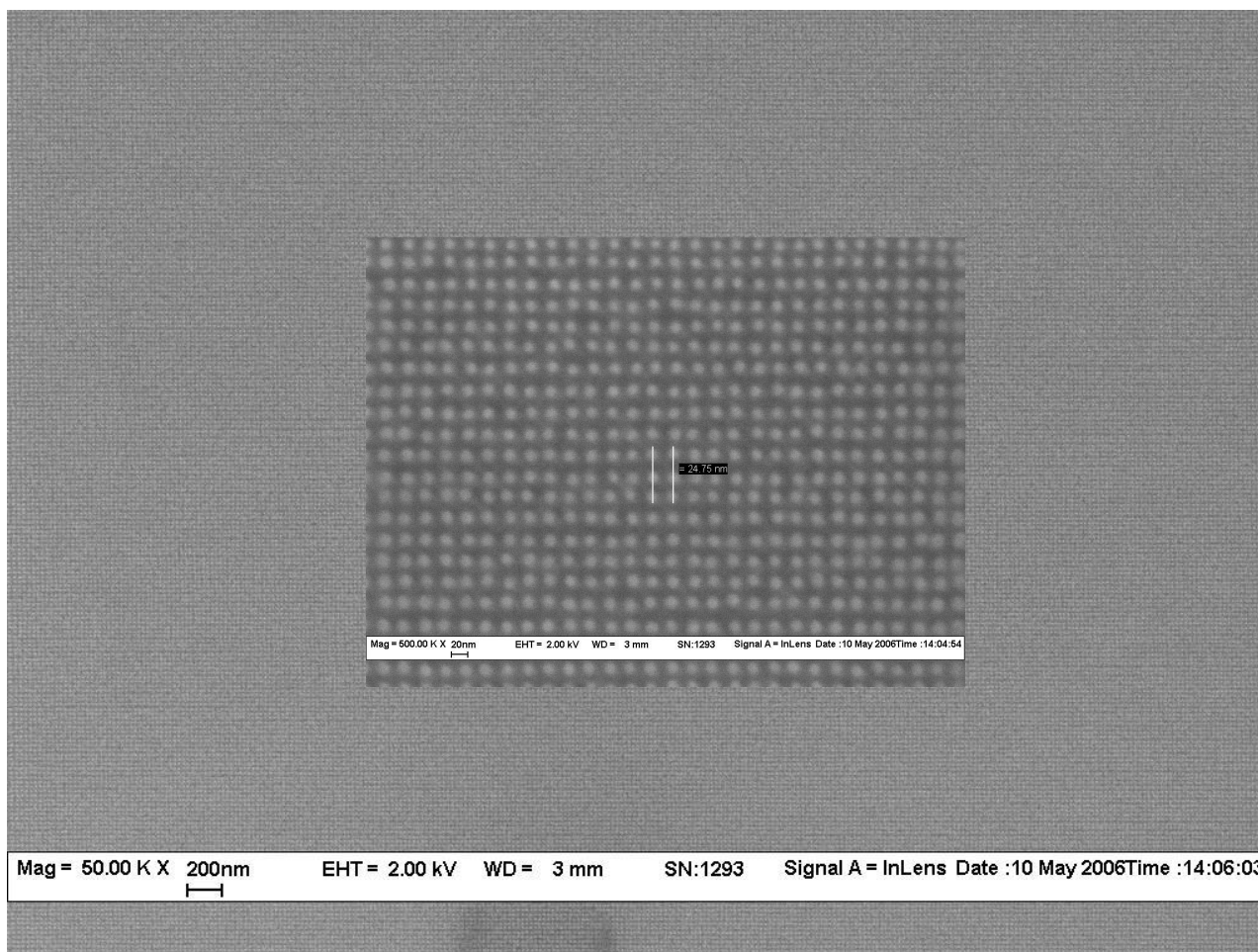
Негативный резист HSQ: Штамп с полупериодом 15 нм

HSQ 15 nm half pitch

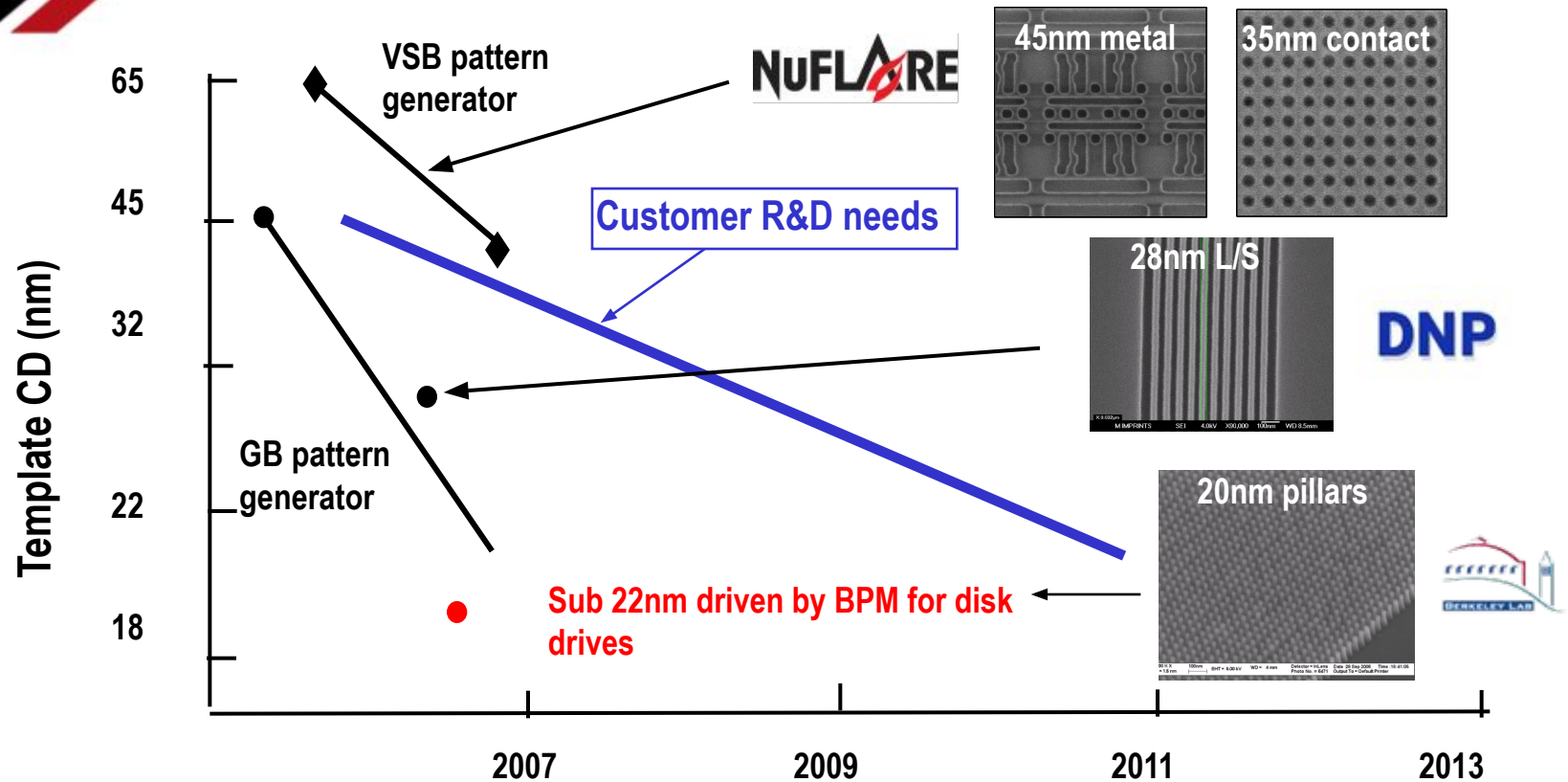


Негативный резист HSQ: Штамп с полупериодом 12.5 нм

HSQ 12.5 nm half pitch



Достигнутое пространственное разрешение уже достаточно для проведения исследований

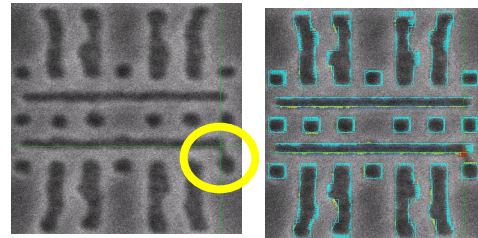
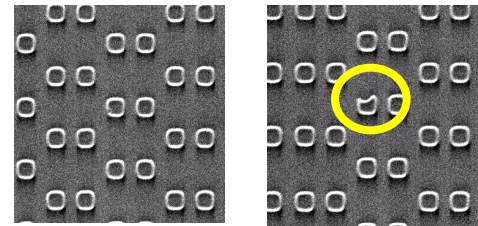


Разрешение является важным фактором, но не достаточным
Необходимо точное размещение рисунка. Например, VSB прибор дает ошибку всего 2-4nm 3 σ (что необходимо для иммерсионной 193nm литографии). Это близко, что требуется для 32 нм технологии.

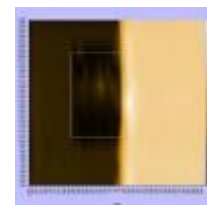
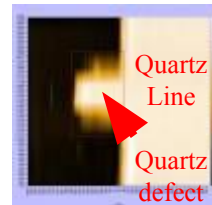
Инспектирование и ремонт нано-штампа

4 1x template inspection/repair builds on wafer inspection technology

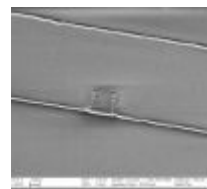
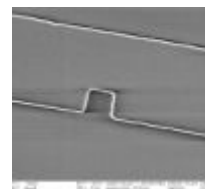
- Two technologies being used to detect down to 20nm defects
- Die to die ebeam inspection (KLA ES32)
- Die to database inspection NGR – 2100



4 Template repair uses standard mechanical or ebeam subtractive and additive techniques



Rave 650NM



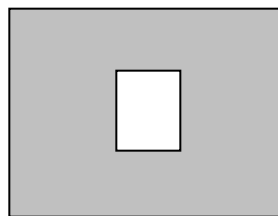
NaWoTec
MeRiTMG

Время написания нано-штампа является важным фактором

- 4 Время написания фото-масок существенно увеличилось! Для фото-маски с 65 нм структурами это может занять 24 часа даже с быстрыми резистами
- 4 **Преимущества** написания штампов
 - Нет оптической коррекции
 - Меньшие размеры
 - Размеры 1:1 позволяют делать репликацию

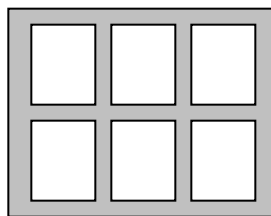
4 Репликация штампа

Исходный штамп



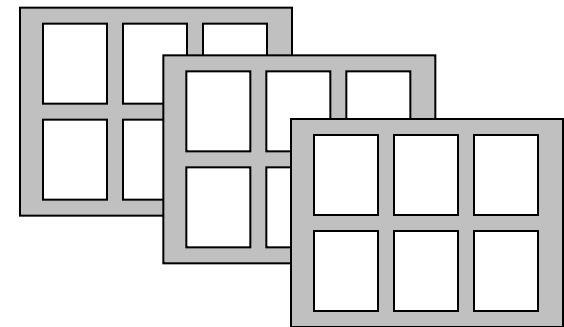
Single die by ebeam

Дочерний штамп



Multi die full field by imprint replication

Реплики

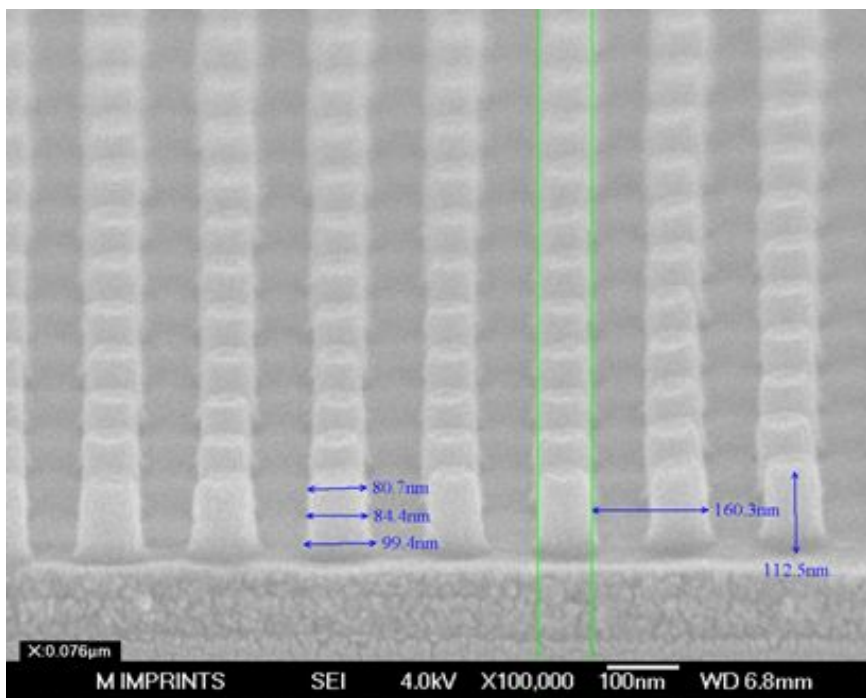


Multiple template sets by imprint replication

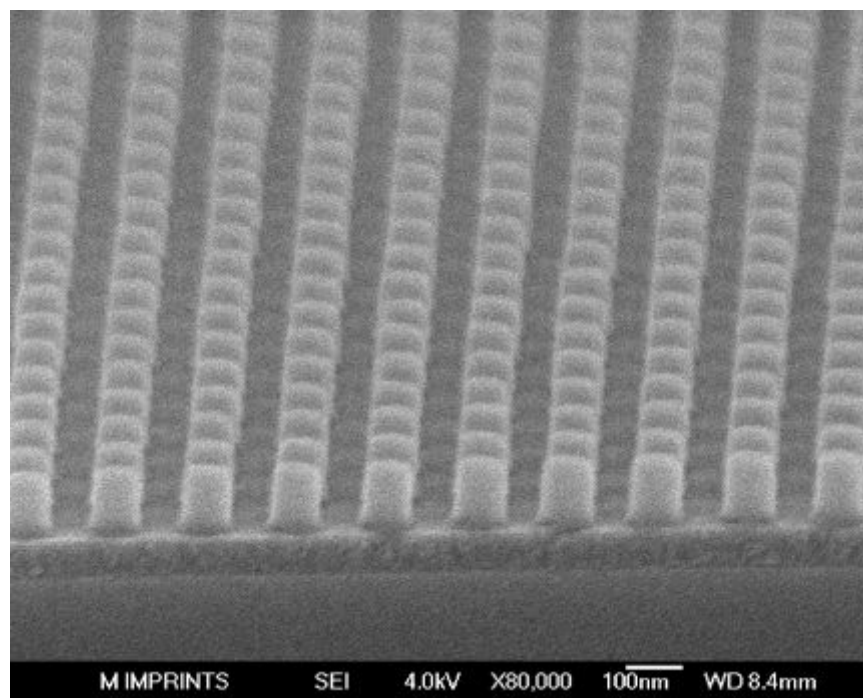
- 4 Потенциал для значительного снижения стоимости

Сравнение исходного штампа и его реплики

Отпечаток с исходного штампа



Отпечаток с реплики



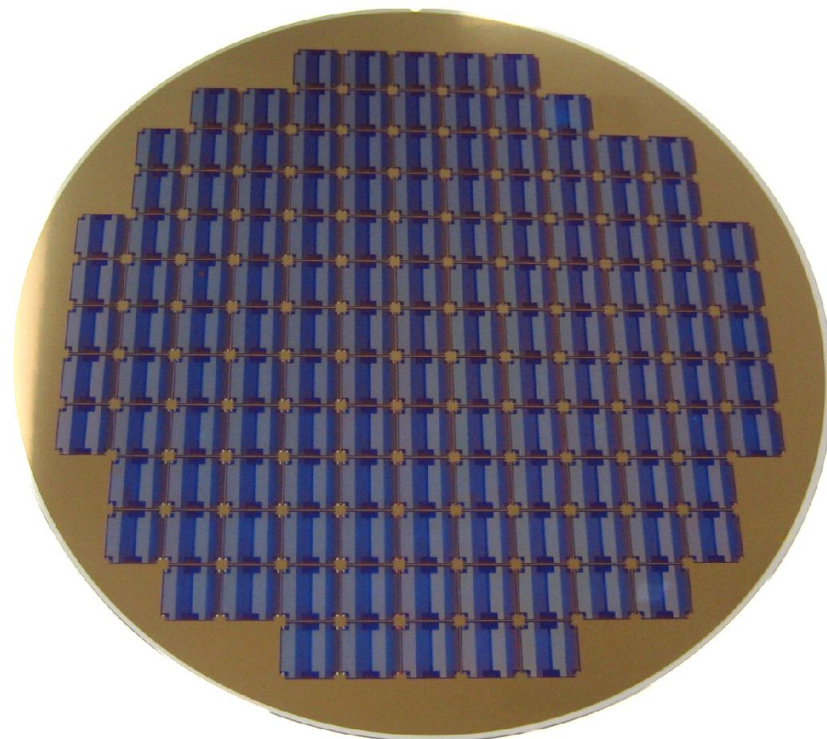
Требования к установкам импринт литографии для CMOS приложений


IMPRIO
250

- 4 Высокая точность совмещения рисунка с предыдущим слоем
- 4 Малый уровень дефектов
- 4 Высокая производительность



Imprio - 250



- Установка предназначена для CMOS приложений
- На ней можно получать структуры менее 20 нм с соответствующим совмещением рисунков
- Жесткий контроль за совмещением и размерами штампа
- Установка полностью автоматизирована для 200 / 300 мм-х пластин

Точность совмещения слоев (Overlay)

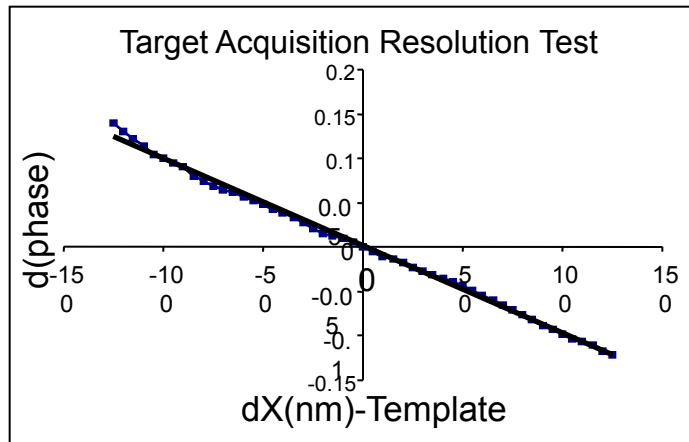
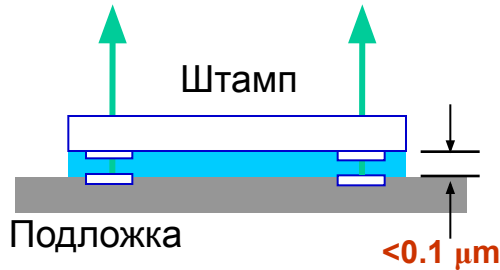
- 4 Требуемая точность 20-25% от минимального размера. К примеру для полупериода 22 nm точность должна быть ~ 5 nm
- 4 Факторы, влияющие на точность
 - Аккуратность механического совмещения штампа с нижним рисунком
 - Увеличение/уменьшение размера штампа
 - Точность рисунка на штампе
 - Условия в которых находится установка – позиционная стабильность, контроль температуры и т.д.
- 4 **Molecular imprints** использует стратегию совмещения рисунка и штампа в каждом индивидуальном поле
- 4 Все эксперименты проведены в тандеме с 193 наномертовыми сканерами (**mix and match mode**), которые использовались для нанесения рисунка на нулевом слое (подложке)

Совмещение рисунка во время печати

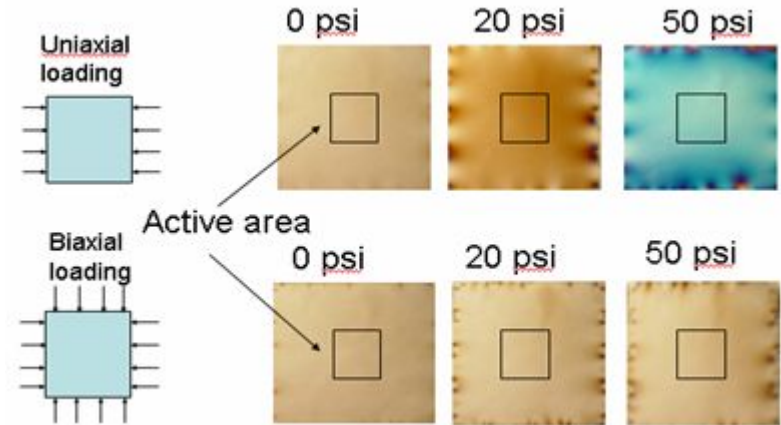
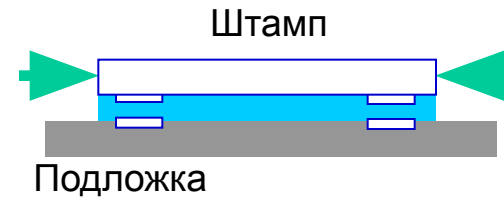
- 4 Совмещение измеряется с помощью растровых решеток (moiré) как на штампе, так и на подложке. Изначально эта техника была разработана для рентгеновской электронной литографии.

Параметры подстройки: X, Y, Mx, My, θ (угол), δ (неортогональность)

Совмещение по жидкому мономеру



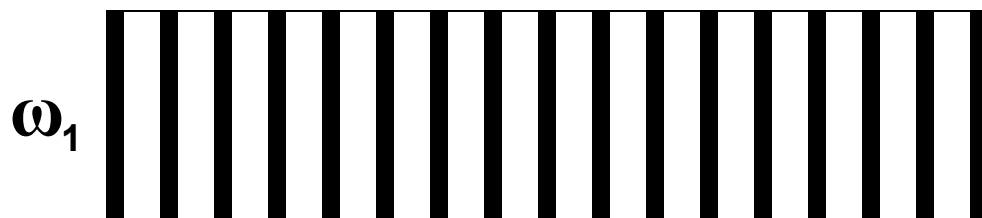
Изменение размера штампа



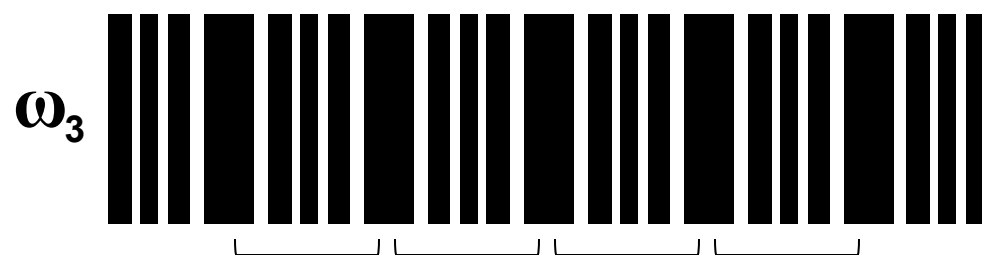
- пространственное разрешение метода лучше 2 нм

Растровые решетки муара

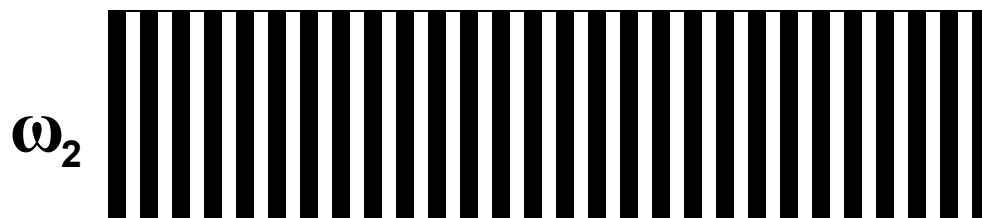
ПОДЛОЖКА



$$\omega_3 = |\omega_1 - \omega_2|$$

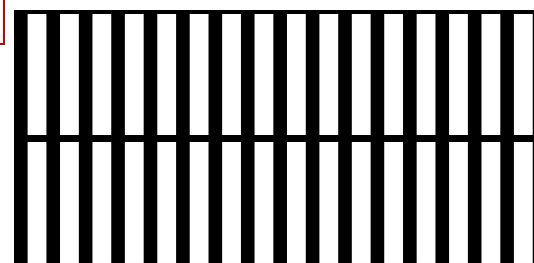
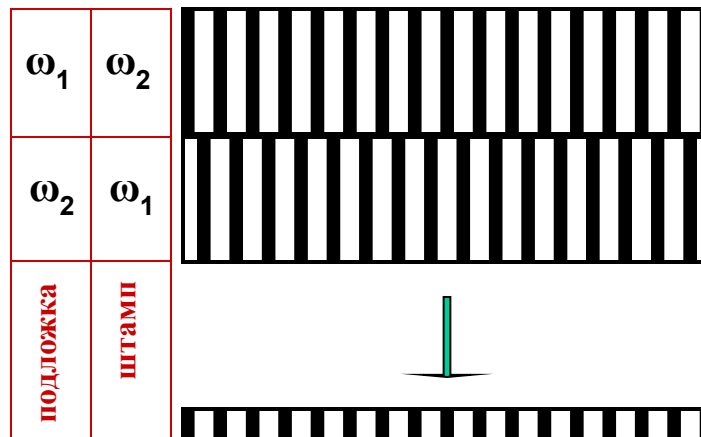


растровая решетка



ШТАМП

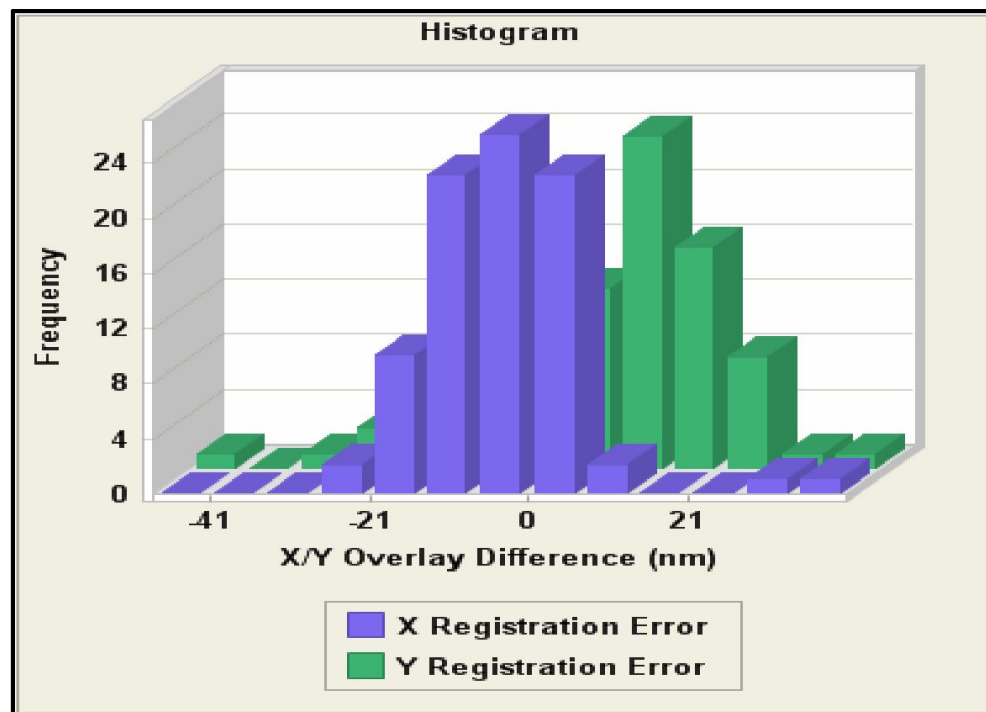
две растровые решетки муара



совмещены

Результаты по точности совмещения слоев

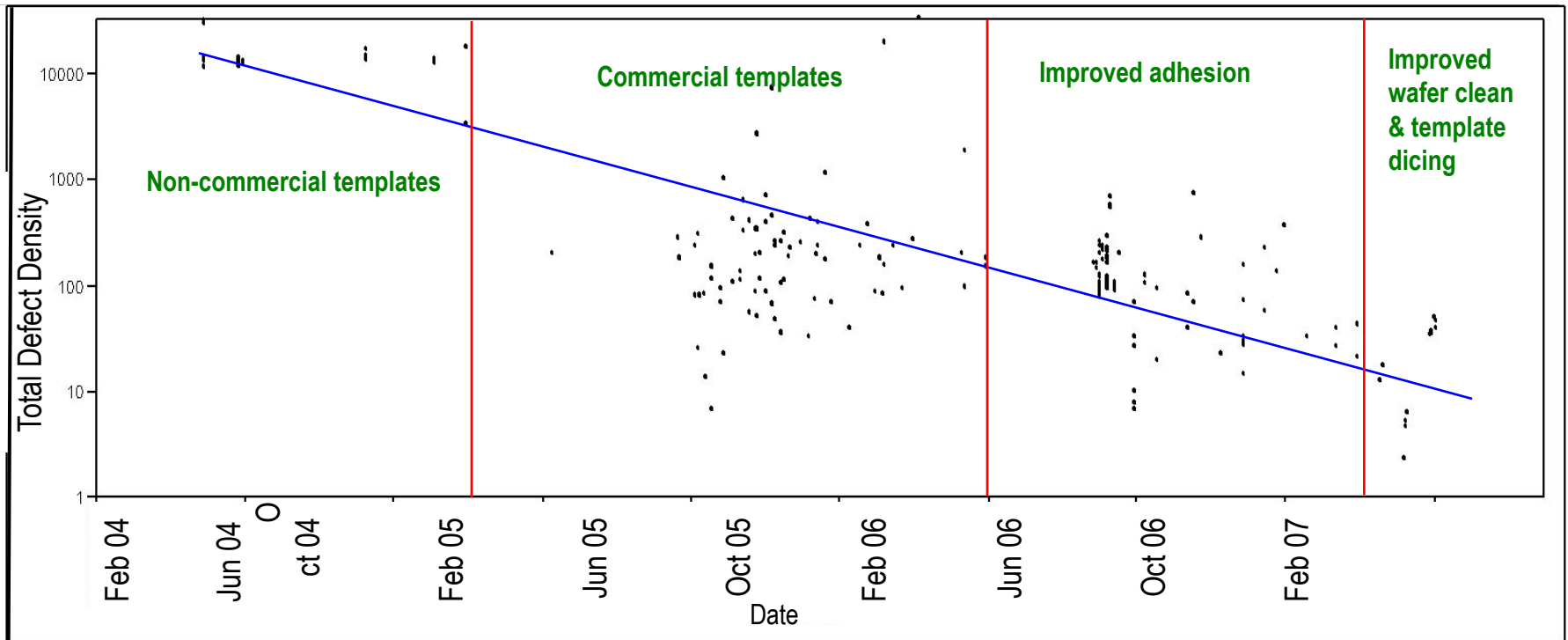
- 4 Точность совмещения была продемонстрирована с двумя типами 193 нм сканерами
- 4 Точность совмещения была измерена на стандартной КТ установке.
 - 32 поля на пластине, 81 точек измерений в каждом поле
- 4 Достигнута точность **20 nm, 3σ**



→ Путь к достижению точности **5 nm** найден, а оставшиеся трудности носят инженерный характер

Последовательное уменьшение количества дефектов

- 4 Данные включают все типы дефектов
- 4 Наблюдается постепенное улучшение – приблизительно один порядок в год



Зависимость количества S-FIL дефектов от размеров

- 4. Дополнительное количество дефектов было обнаружено на установке eS32, которая обладает лучшим пределом разрешения (25 нм), чем KLA2132 (200 нм).
- 4. Было обнаружено только увеличение посторонних частиц, но не дефектов связанных с самой импринт технологией.

KLA 2132: 200nm pixel

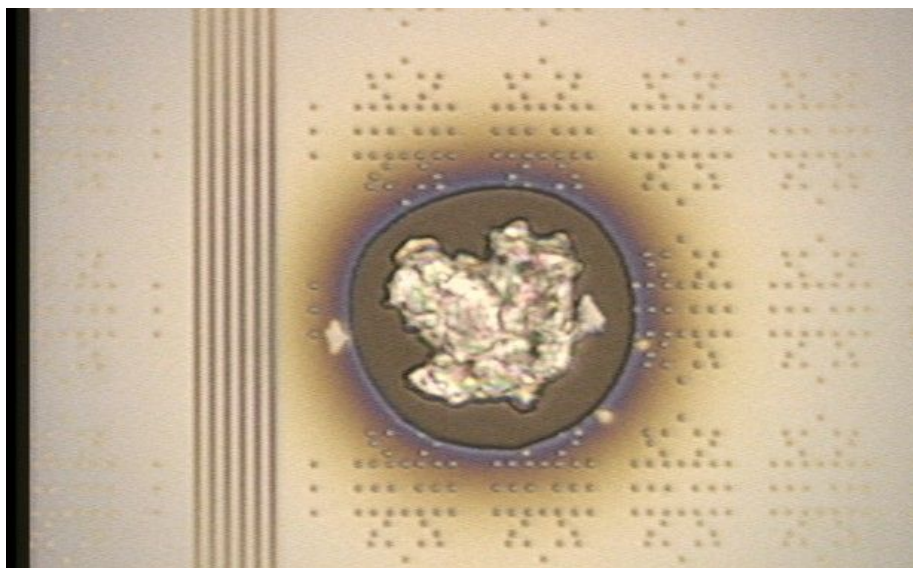
Total inspection area:	0.83 cm ²	5	2
Class	Coun	Defec Density/cm ²	
Glass	t 4	2	4.
Particl	2	8.	
Bubbles/Featur		4	
Failur	0	0.	
Total	6	0.	

KT eS32: 25nm pixel

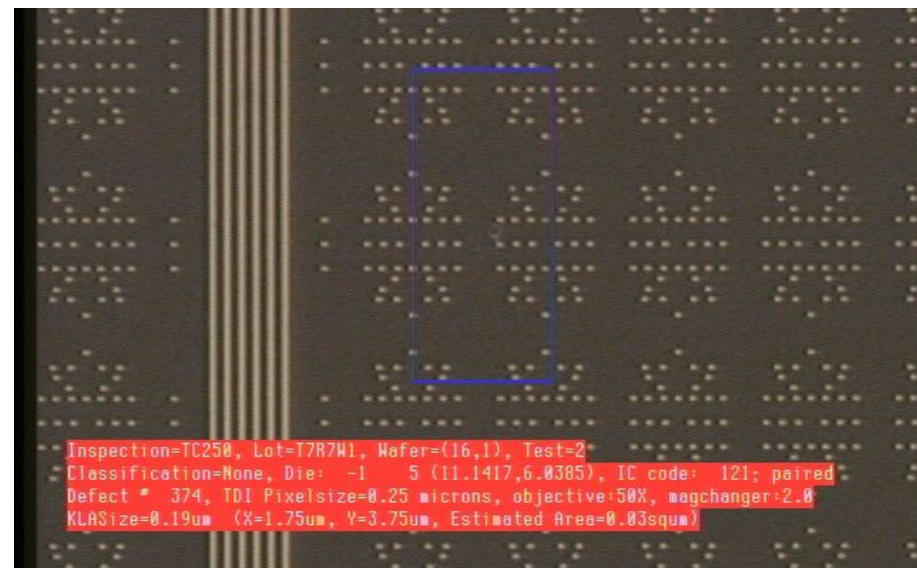
Total inspection area:	0.661 cm ²	2	2
Class	Coun	Defec Density/cm ²	
Glass	t 4	2	6.
Particl	1	10.	
Bubbles/Featur	3	7	
Failur	0	0.	
Total	1	25.	

Устойчивость процесса к посторонним частицам. Самоочистка при последующем печатании.

Частица >10um во время печатания



Едва заметный дефект на последующем поле



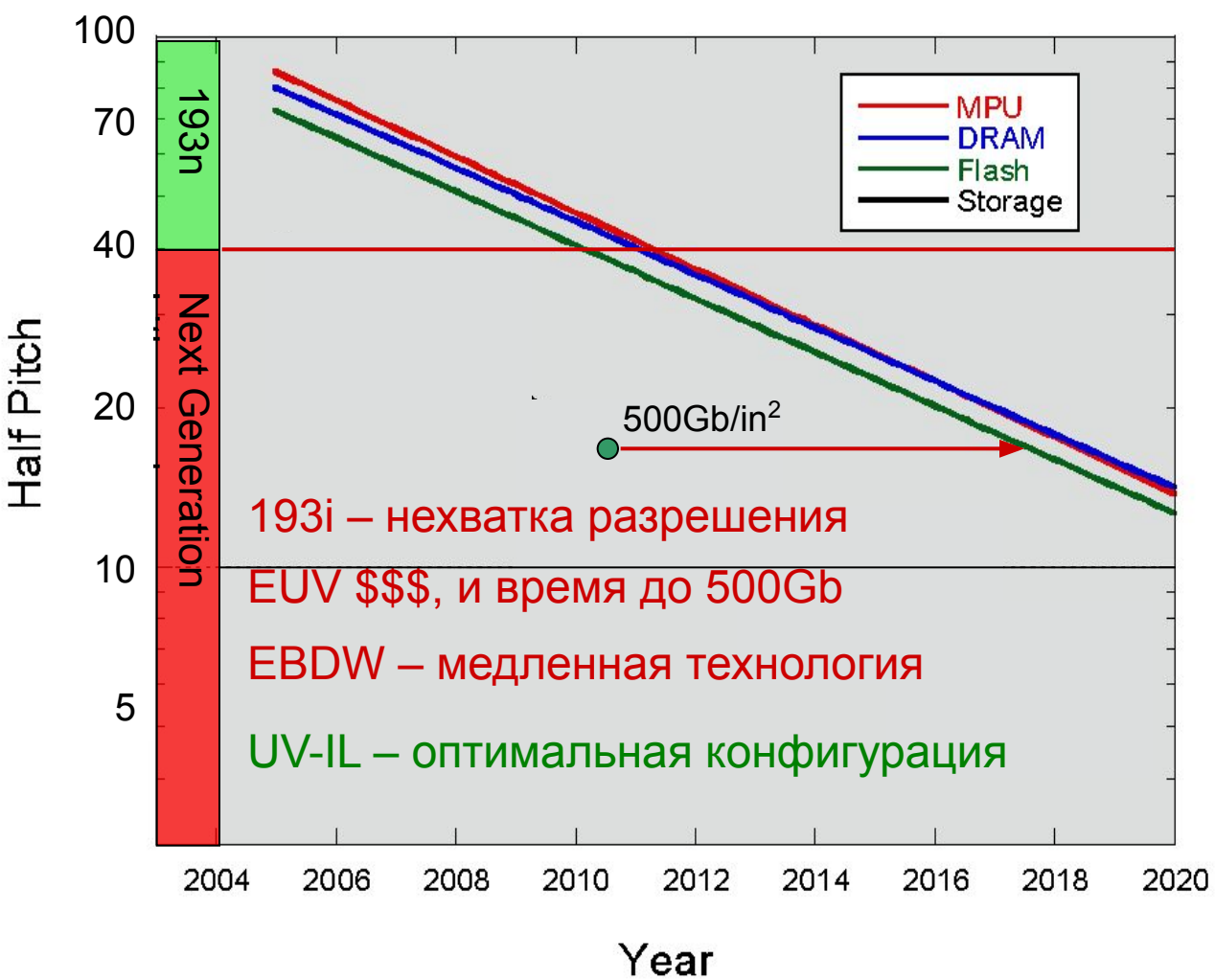
- ❑ Штампы удивительно устойчивы к механическому воздействию частиц во время процесса печатания
- ❑ Активный контроль над силой соприкосновения позволяет избежать серьезных повреждений
- ❑ Жидкость действует как амортизатор при соприкосновении
- ❑ Кварцевые штампы не изнашиваются и не эродируют под воздействием жидкостей с малой вязкостью, или в процессе химической очистки

Производительность Imprio-250

Tool (Throughput)	Imprio 250 (5 wph)	Single Head HVM (20 wph) - 2009	Quad Head HVM (80 wph) - 2011
Stage step & settle, fluid dispense	4 sec	0.15 sec	0.15 sec
Fluid spread & in-liquid align	10 sec	1.0 sec	1.0 sec
UV curing	4 sec	0.15 sec	0.15 sec
Separation	2 sec	0.1 sec	0.1 sec
TOTAL	20 sec	1.4 sec	1.4 sec

- 4** Сравнительно малая стоимость печатных головок позволяет установить несколько таких головок для увеличения производительности.

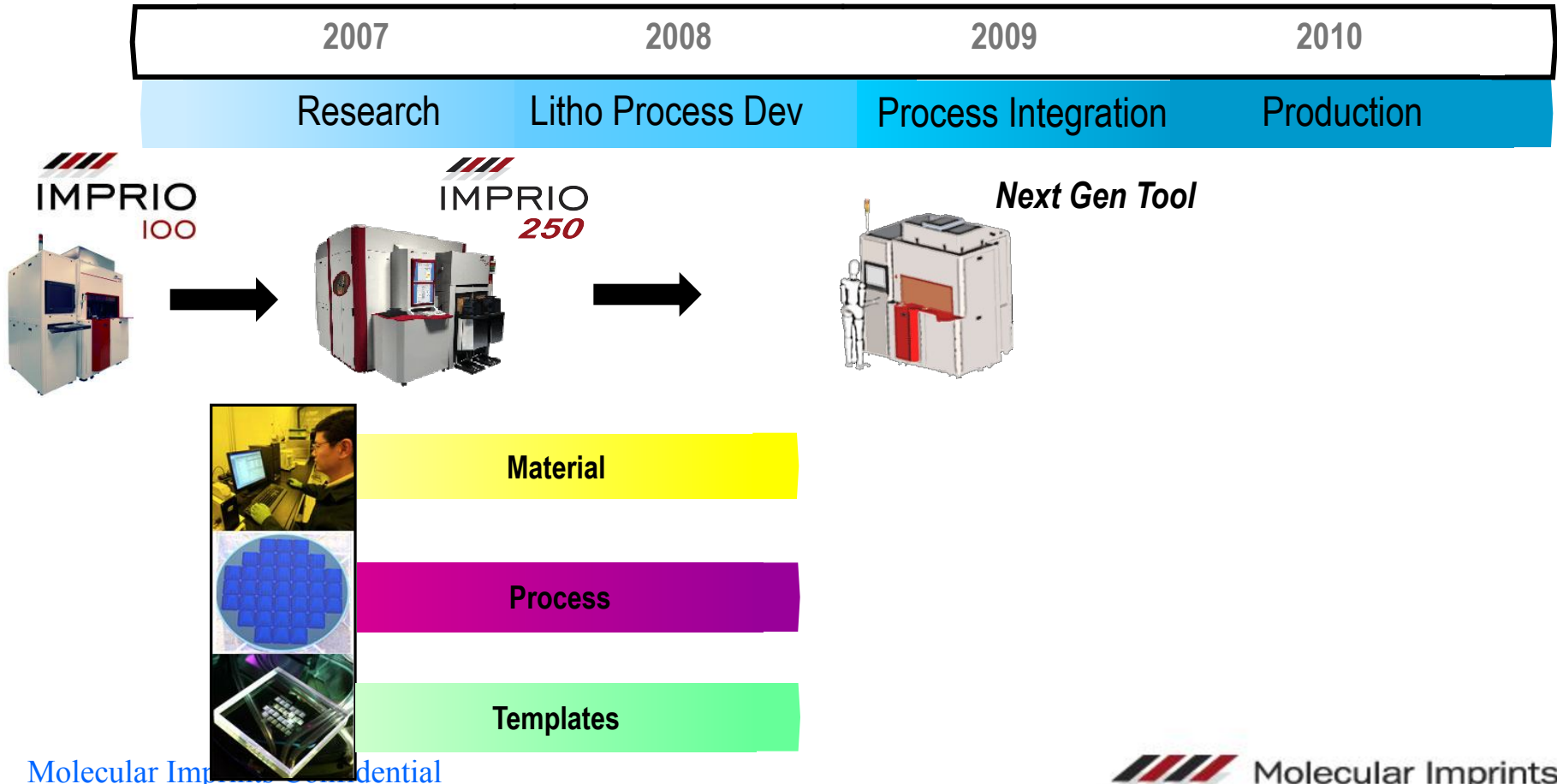
Сравнение планов для интегральных микросхем (ITRS) и для хранения информации (Information Storage)



- Планы Information Storage намного более агрессивны, чем планы ITRS для ИМ
- Высоко – скоростные установки не будут готовы вовремя
- Цена установки EUV за пределами высока (~\$50-75M)
- Генераторы на электронных пучках имеют необходимое разрешение, но очень медленные
- Импринт литография сочетает разрешение и скорость

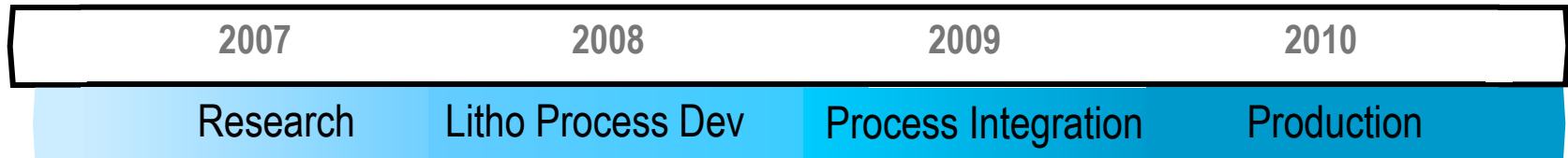
План развития на ближайшие годы

- 4 Производство структур с полупериодом 32 нм планируется на 2010 год. Этот срок определен планом развития элементов памяти

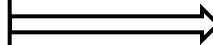


Приложения в CMOS индустрии

- 4 Производство структур с полупериодом 32 нм начнется около 2010 года, что определяется развитием элементов памяти



Развитие процессов и приборных прототипов



- Примером служит совместная работа с IBM над сверхплотной элементом памяти с размерами менее 30 нм
- Растет интерес со стороны производителей логических схем и микропроцессоров к 3-х мерному печатанию для использования в производстве медных контактов

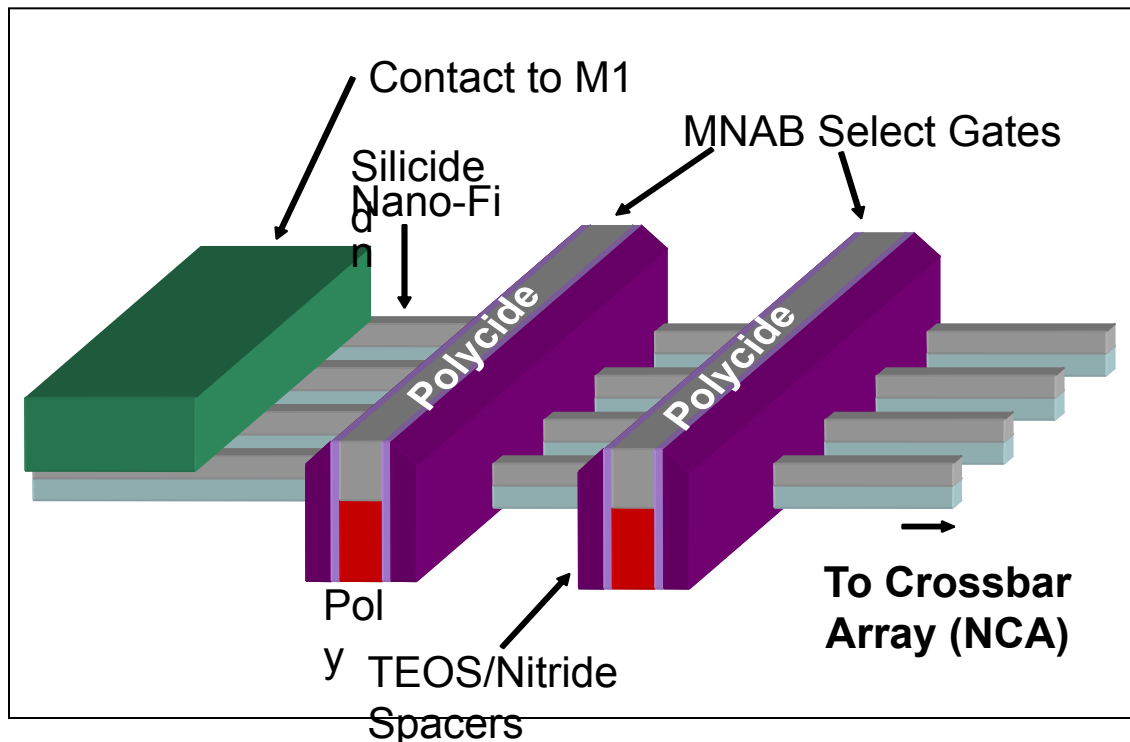


IBM Almaden Research Center

30 нм “Storage-Class” сверхплотная постоянная память

Требуется произвести **10 нм** линии с **20 нм** периодом в ближайшие 5-7 лет **при малой стоимости**

MNAB - Micro to Nano Addressing Block
Ячейка – 3-х мерный вид



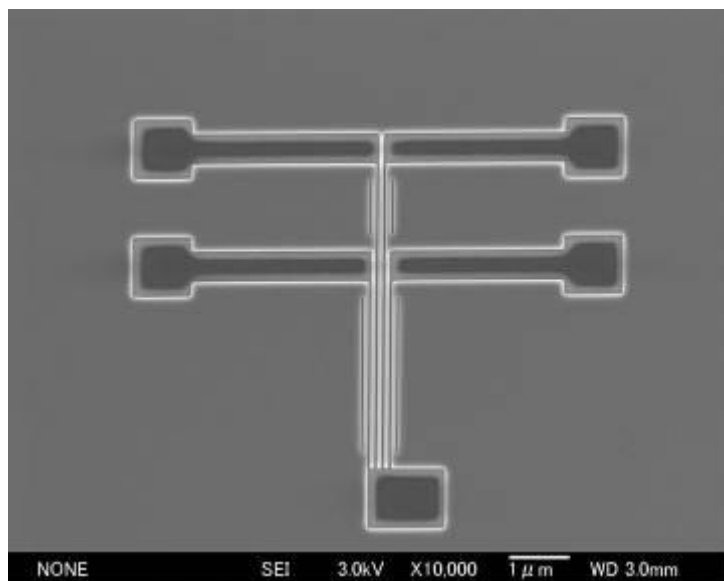
Содружество



K. Gopalakrishnan et al, *IEDM Tech. Dig.*, 2005, pp. 471-474

R.S. Shenoy et al, *Proc. Symp. VLSI Technology*, June 2006, pp. 140-141

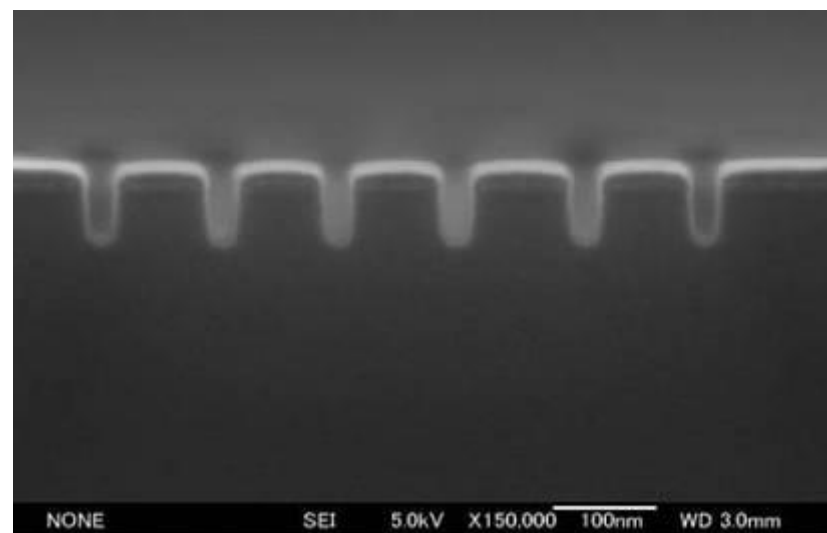
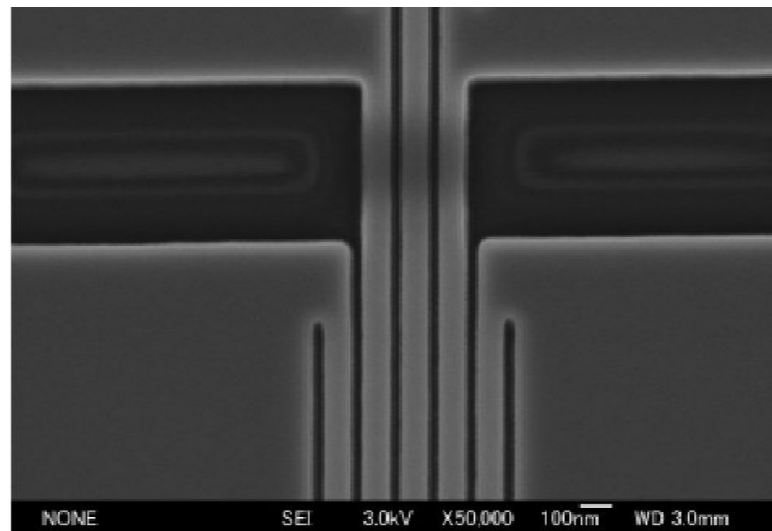
Базовый рисунок с 4-Fin MNAV,
углубленный в кварц

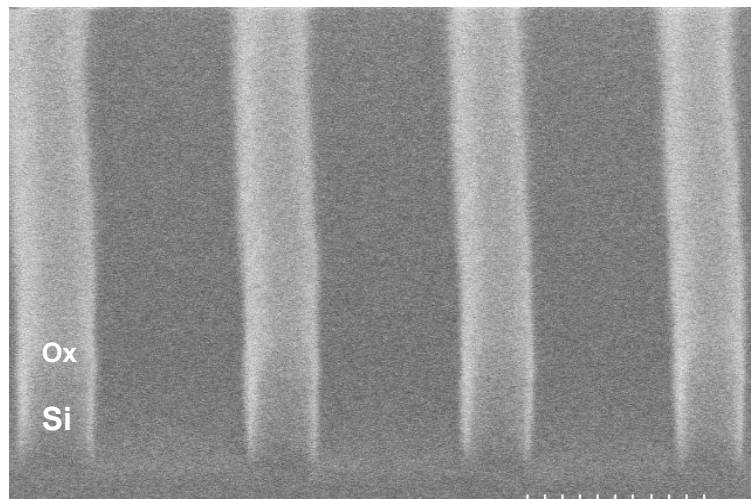


30 нм линии / 120 нм период

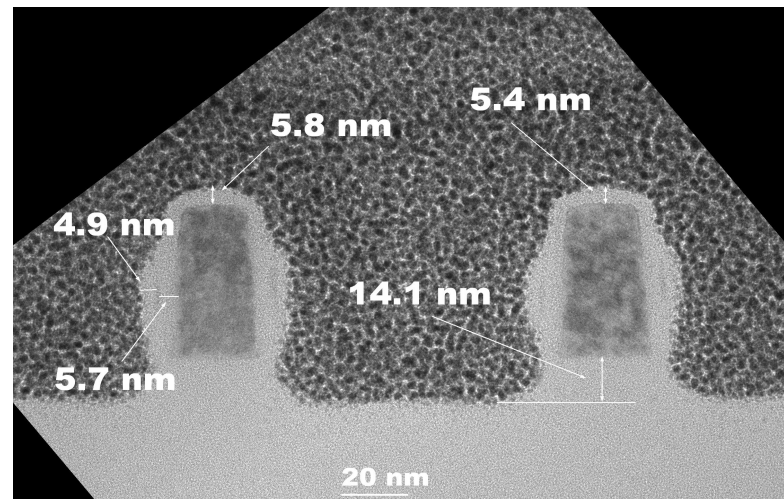
80 нм глубина травления

Вертикальность стенок $\sim 88^\circ$





Кремниевые полоски, полученные после травления с резистивной и оксидной масками



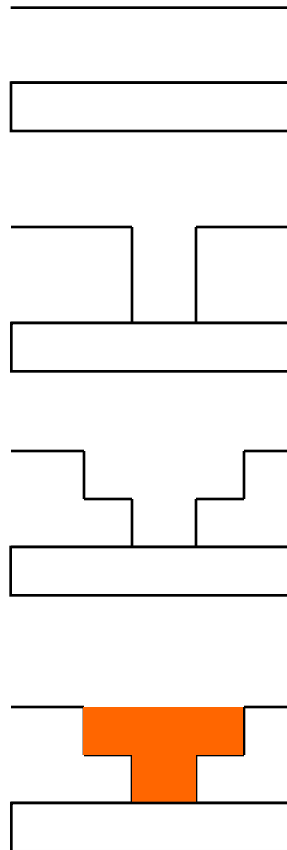
Кремниевые полоски, покрытые оксидом со всех сторон и готовые к ионной имплантации, и к дальнейшим литографическим шагам

- 4 Продемонстрирована 27 нм FinFET литография с прекрасным контролем за размерами линий, вертикальностью стенок и малой шероховатостью
- 4 SFIL процесс интегрирован с 7 другими литографическими процессами (3-мя при 193 нм, 4-мя при 248 нм). «Mix and match» совмещение рисунка лучше 20 нм

Потенциал для 3-х мерной печати

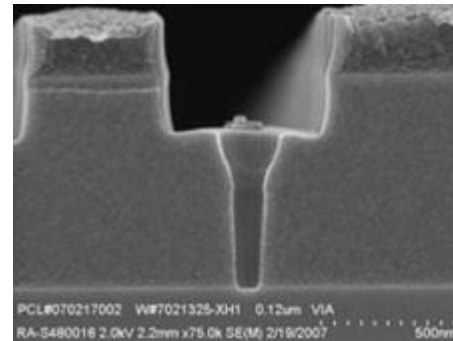
Существующий процесс

- Нанести диэлектрический слой
- Нарисовать и протравить контакты
- Нарисовать и протравить каналы
- Заполнить медью и прополировать химико-механической полировкой (CMP)



Предлагаемый процесс печати

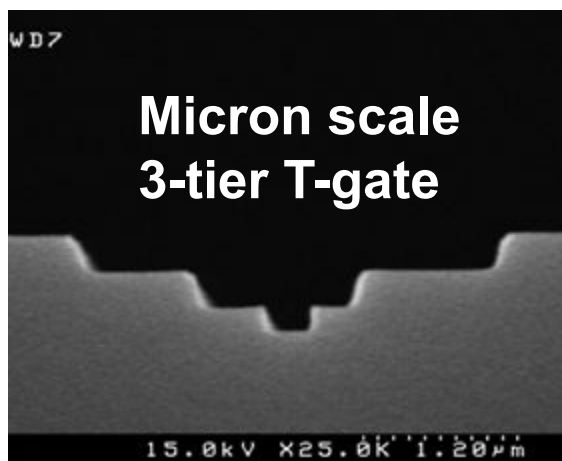
- Контакты в диэлектрике и соединяющие каналы могут быть напечатаны за один раз, что приведет к значительному уменьшению стоимости



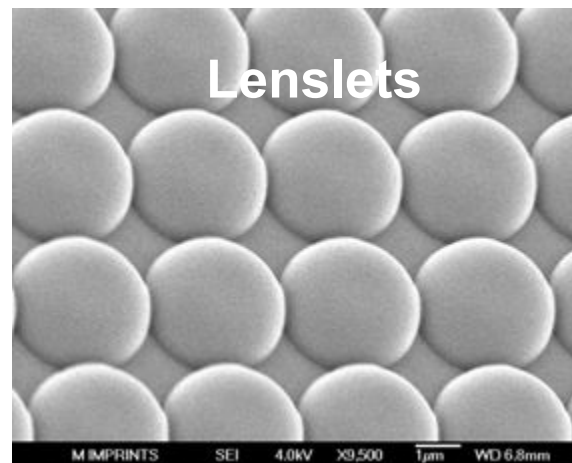
Palmieri et al – SPIE C1 Tuesday 4.00pm

Потенциал для 3-х мерной печати

3-х уровневый затвор



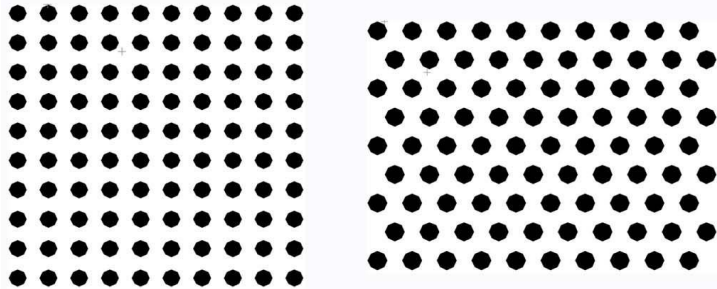
Микро-линзы



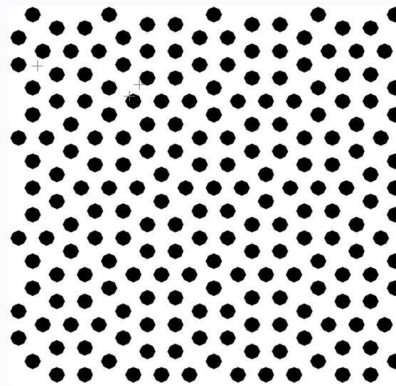
Применение к фотонным кристаллам



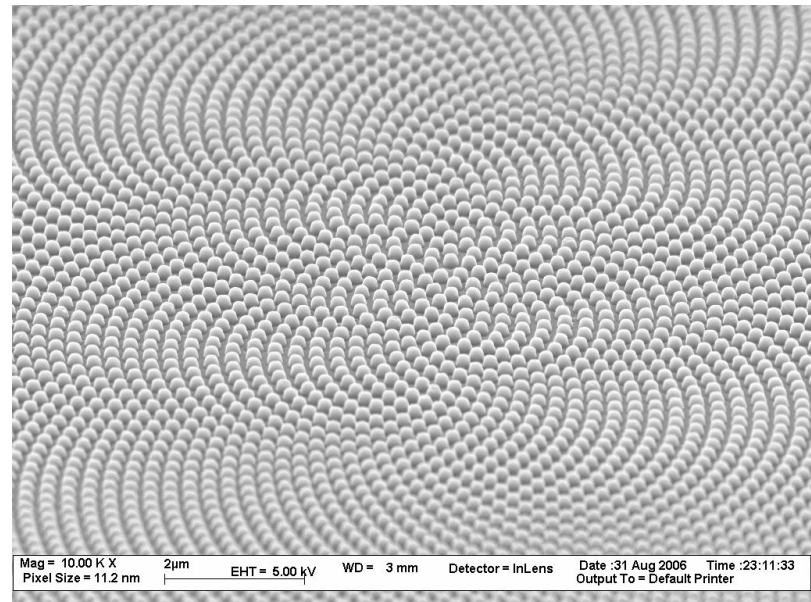
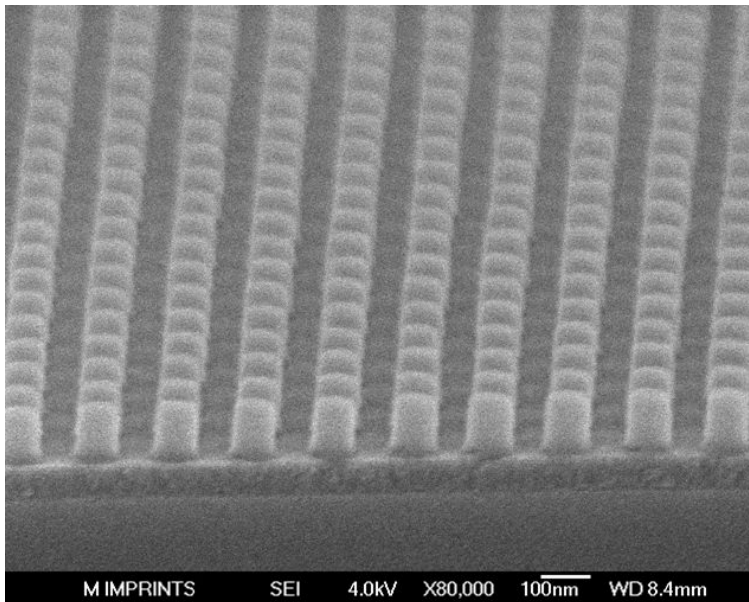
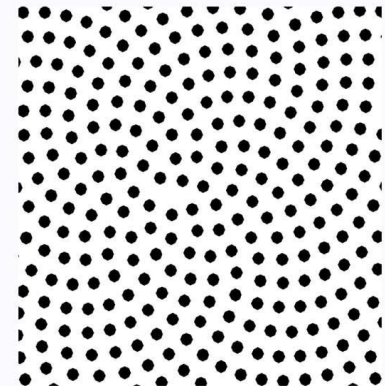
90nm Holes 160nm Pitch



90nm Holes 150nm Pitch



120nm Holes 268nm Pitch



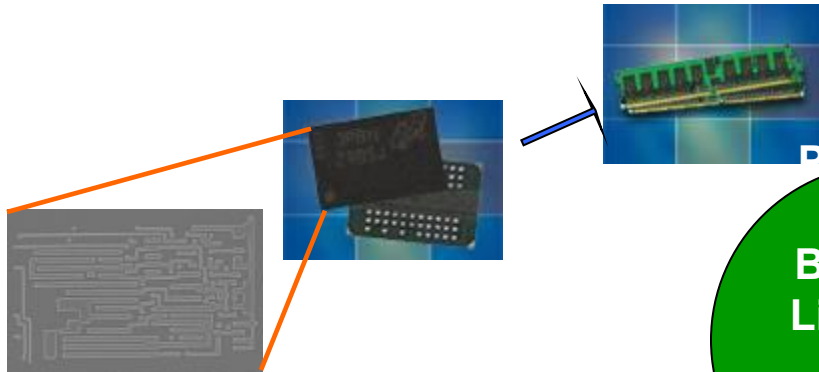
Заключение. Почему именно импринт литография?

- 4** Позволяет уже сегодня достичь уровня литографии менее 32 нм с маленькой шероховатостью линий (LER)
- 4** Совместима с CMOS технологией
 - Буквальная замена оптической литографии без изменения процессов до и после этого этапа
- 4** Низкая себестоимость
 - Репликация
 - Не нужно применять оптическую коррекцию и нет ограничений на моделирование рисунка
- 4** Возможность нанесения бинарного рисунка для носителей на дисках
- 4** Возможность печатания 3-х мерного профиля
- 4** Применение к фотонным кристаллам для ультра-ярких фотодиодов (LED)
- 4** Приложения к другим секторам индустрии

У технологии существуют многочисленные приложения и возможности нахождения большого рынка сбыта

Интегральные микросхемы

CMOS Integrated Circuits (IC)

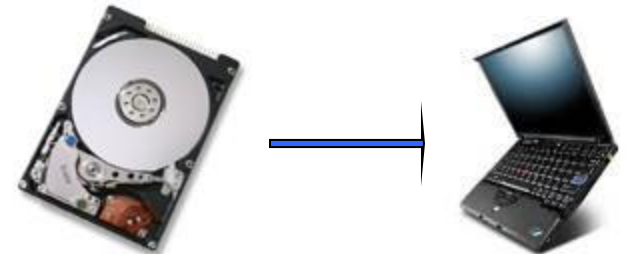


Нано-технология

High Brightness Light Emitting Diodes (LED)



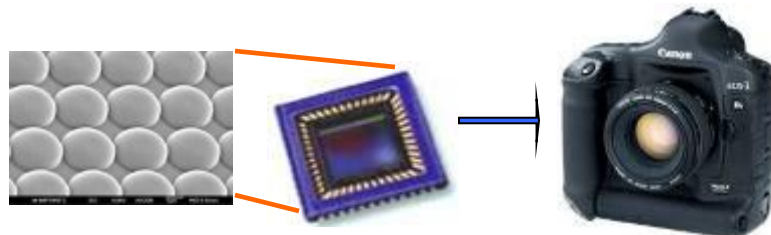
Hard Disk Drives (HDD)



Potential
\$7+
Billion/Yr
Lithography
Equipment
Market

Future Applications

CMOS Image Sensors (CIS)



Flat Panel Displays



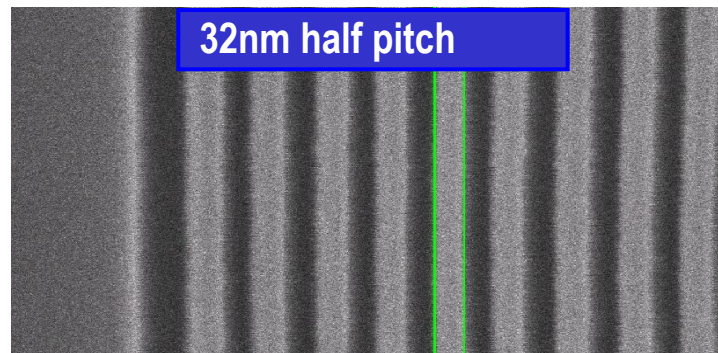
Bio-Medical



В 2006 году обе технологии EUV и S-FIL импринт начали продажи установок для CMOS!

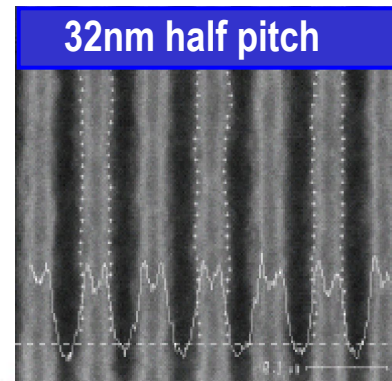
Поставка Imprio® 250

4 Для CMOS Integrated Device Manufacturer (IDM)



Поставка EUVL

4 Для исследовательского консорциума Albany Nanotech/IMEC



MOLECULAR IMPRINTS, INC.

Спасибо за внимание

1807 West Braker Lane
Bldg C-100
Austin, TX 78758
niyaz@militho.com