

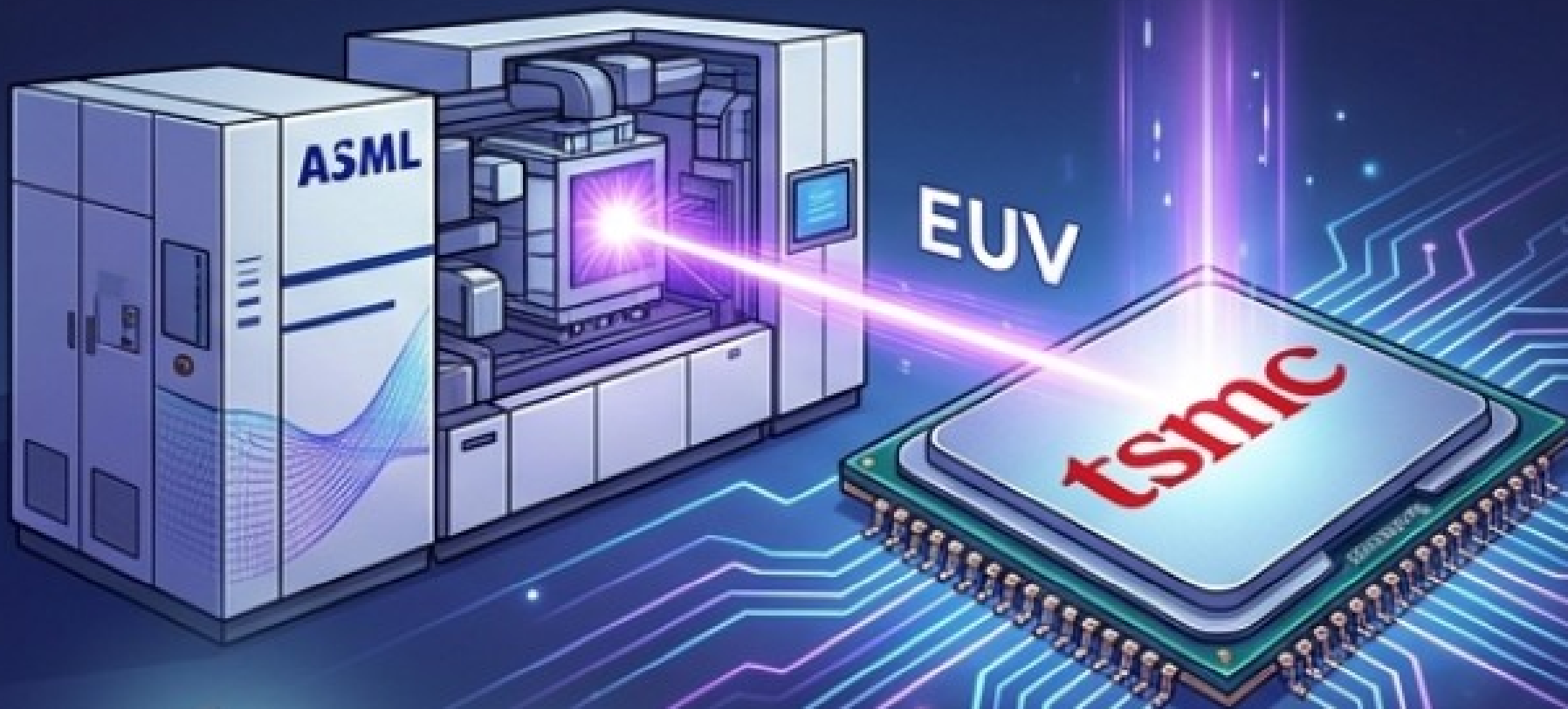


International
Day of Light

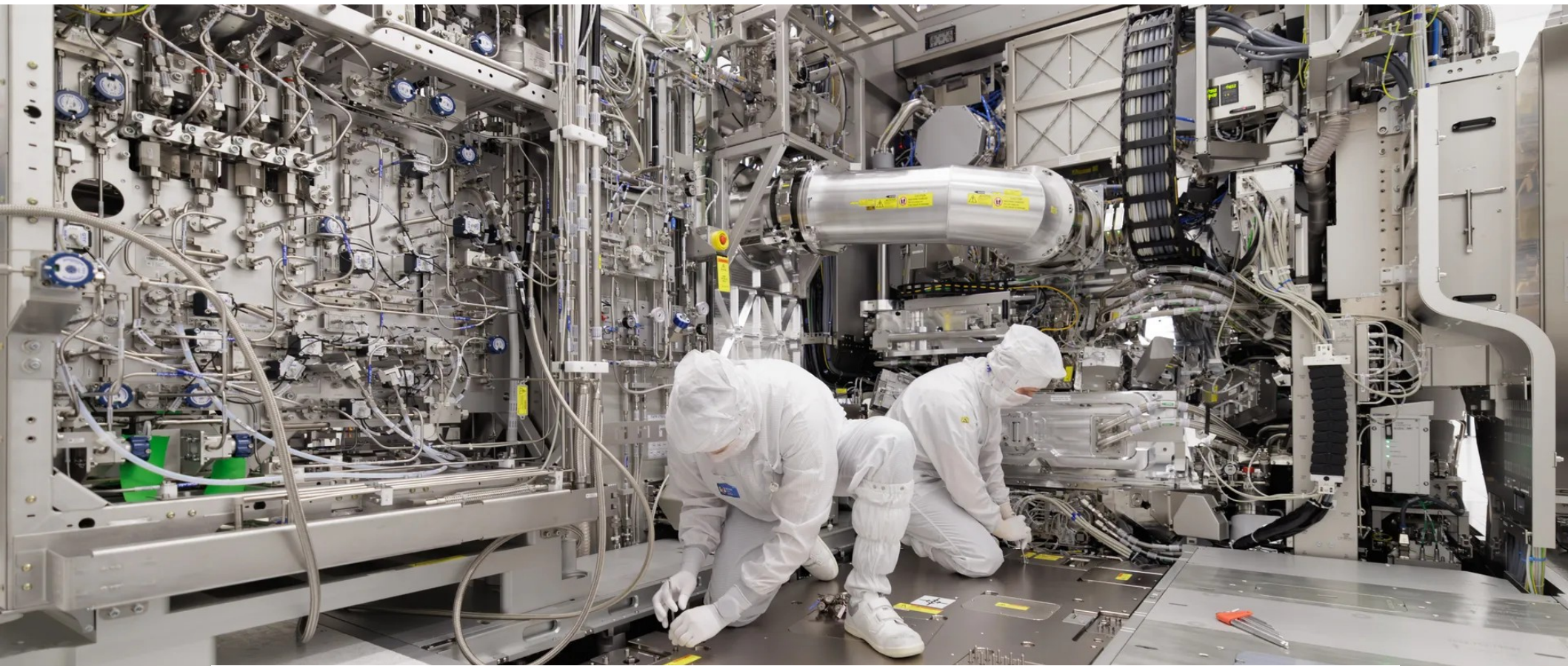


Юрій Скоренький.

Світло, яке друкує комп'ютери або EUV, ASML,
TSMC та інші аббревіатури майбутнього.



EUV, ASML, TSMC та революційні технології



A

SML shipped 48 EUV lithography systems and 131 immersion DUV tools in 2025, generating €32.7 billion in total revenue and ending the year with a €38.8 billion order backlog.

<https://www.tomshardware.com/tech-industry/semiconductors/asml-lithography-roadmap-examined-from-duv-to-hyper-na>

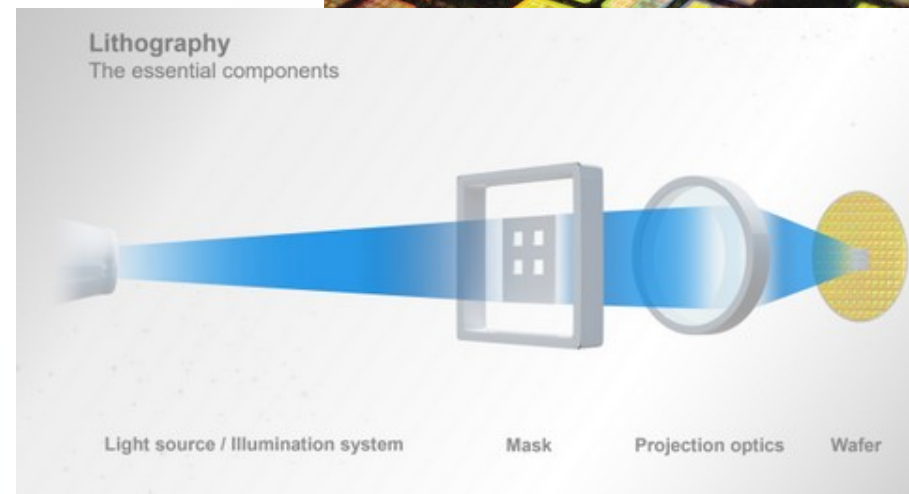
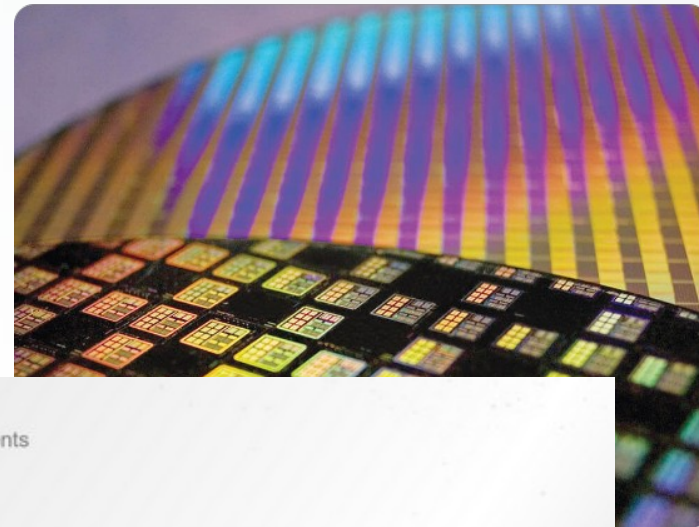
Що таке фотолітографія?



Це процес "друку" мікросхем за допомогою світла. На кремнієву пластину наноситься фоторезист, який реагує на випромінювання, створюючи складні візерунки транзисторів.

 Мільярди транзисторів на одному чіпі

 Точність до окремих атомів



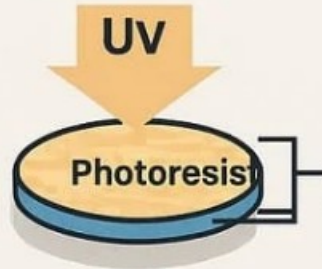
Як виготовляють мікрочіпи?

1. Сировина:

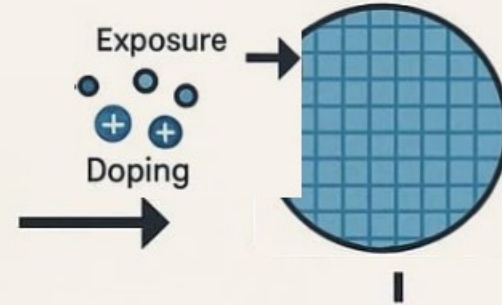
Видобуток кремнію та підготовка пластин



2. Фотолітографія:
друк схеми



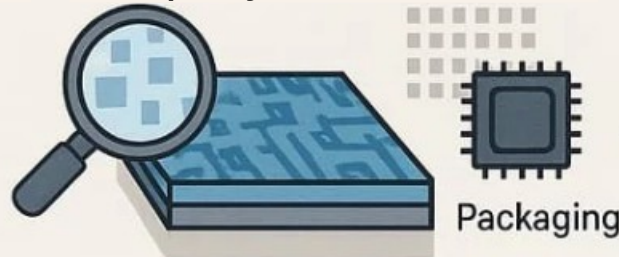
3. Травлення та іонна імплантація



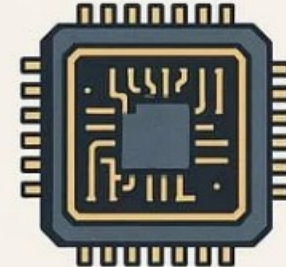
4. Створення шарів та контактів



5. Тестування та випробування

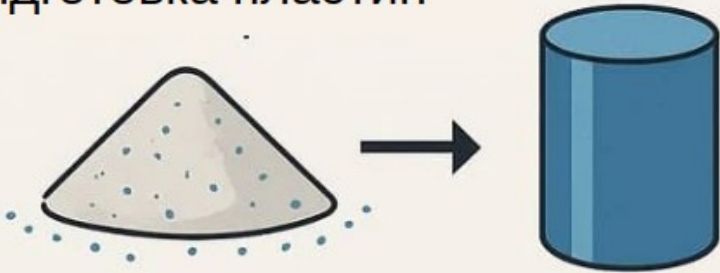


6. Використання в електроніці



1. Сировина:

Видобуток кремнію та підготовка пластин

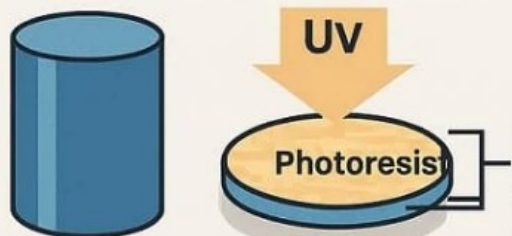


Життя процесора починається в земній корі — з піску, який складається переважно з діоксиду кремнію (SiO_2). Кремній є основним елементом мікročіпів завдяки своїм напівпровідниковим властивостям.

Ключові кроки:

- **Очищення:** Кремній переробляється в полікристалічний кремній за допомогою хімічного процесу для досягнення чистоти 99,9999%.
- **Вирощування кристалів:** За допомогою процесу Чохральського вирощується монокристалічний кремнієвий злиток — зазвичай діаметром 300 мм і довжиною до метра.
- **Нарізання пластин:** Кремнієвий злиток нарізається на тонкі пластини, кожна товщиною близько 0,75 мм, а потім полірується для створення плоскої, дзеркальної поверхні, придатної для виробництва мікросхем.

2. Фотолітографія: друк схеми



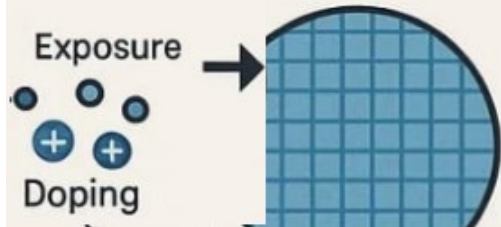
Після підготовки пластин наступним кроком є нанесення на них складних схем, які часто складаються з мільярдів транзисторів.

Ключові кроки:

- **Фоторезистне покриття:** На пластину наноситься світлочутливий хімічний шар, який називається фоторезистом.
- **Вирівнювання маски:** Фотошаблон зі схемою мікросхеми ставлять над пластиною.
- **Експонування:** Ультрафіолетове світло (УФ) пропускається через маску, переносячи схему на фоторезист.
- **Проявлення:** Експоновані (або неекспоновані) ділянки фоторезисту видаляються за допомогою хімічного розчину, що дозволяє проявити схему під ним.

Цей процес повторюється шар за шаром, причому кожен шар відповідає різній частині внутрішньої структури процесора.

3.Травлення та іонна імплантація



Після того, як схема проявлена, її потрібно фізично створити на кремнієвій пластині.

Травлення:

- Сухе травлення (плазмове травлення) або мокре травлення (хімічні ванни) видаляє матеріал з ділянок, не захищених фоторезистом.
- Це формує мікроскопічні канавки, канали та транзисторні структури.

Легування (іонна імплантація):

- Певні ділянки бомбардуються іонами (наприклад, бором або фосфором) для зміни електропровідності, утворюючи напівпровідники р- або n-типу.

4. Створення шарів та контактів



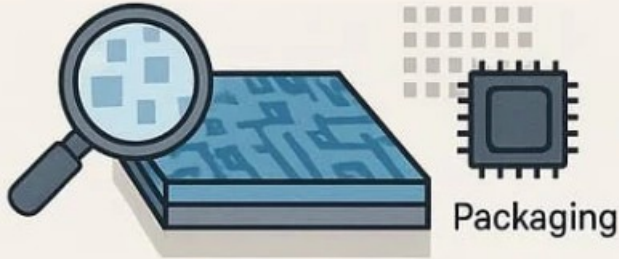
Мікрочіпи – це багат шарові структури. Ці шари повинні бути точно зібрані та з'єднані.

Ключові кроки:

- **Нанесення діелектричних шарів:** Ізоляційні шари наносяться між шарами транзисторів.
- **Осадження металу:** Мідь або алюміній наносяться у вигляді візерунків для створення контактів (взаємоз'єднань) між транзисторами.
- **Хіміко-механічне полірування:** Забезпечує рівність поверхні та її готовність до нанесення наступного шару.

Сучасні процесори можуть мати понад 50 шарів, кожен з яких має товщину лише в кілька атомів.

5. Тестування та випробування



Після виготовлення пластини перевіряються на наявність дефектів за допомогою автоматизованого оптичного контролю та електричного зондування.

Заключні кроки:

- **Нарізання:** Пластина розрізається на окремі кристали (також звані кристалами).
- **Упаковка:** Кожен кристал встановлюється в захисний корпус зі штифтами або кульками для підключення до іншого обладнання.
- **Заклучне тестування:** Чіпи ретельно тестуються на продуктивність, енергоефективність та теплові характеристики. Для преміального використання відбираються лише кристали найвищої якості.

Закон Мура

Кількість транзисторів на мікросхемі подвоюється кожні два роки. Щоб це тривало, для виготовлення процесорів потрібне світло з дедалі меншою довжиною хвилі.

Moore's Law: The number of transistors on microchips has doubled every two years
Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.



Transistor count

50,000,000,000

10,000,000,000

5,000,000,000

1,000,000,000

500,000,000

100,000,000

50,000,000

10,000,000

5,000,000

1,000,000

500,000

100,000

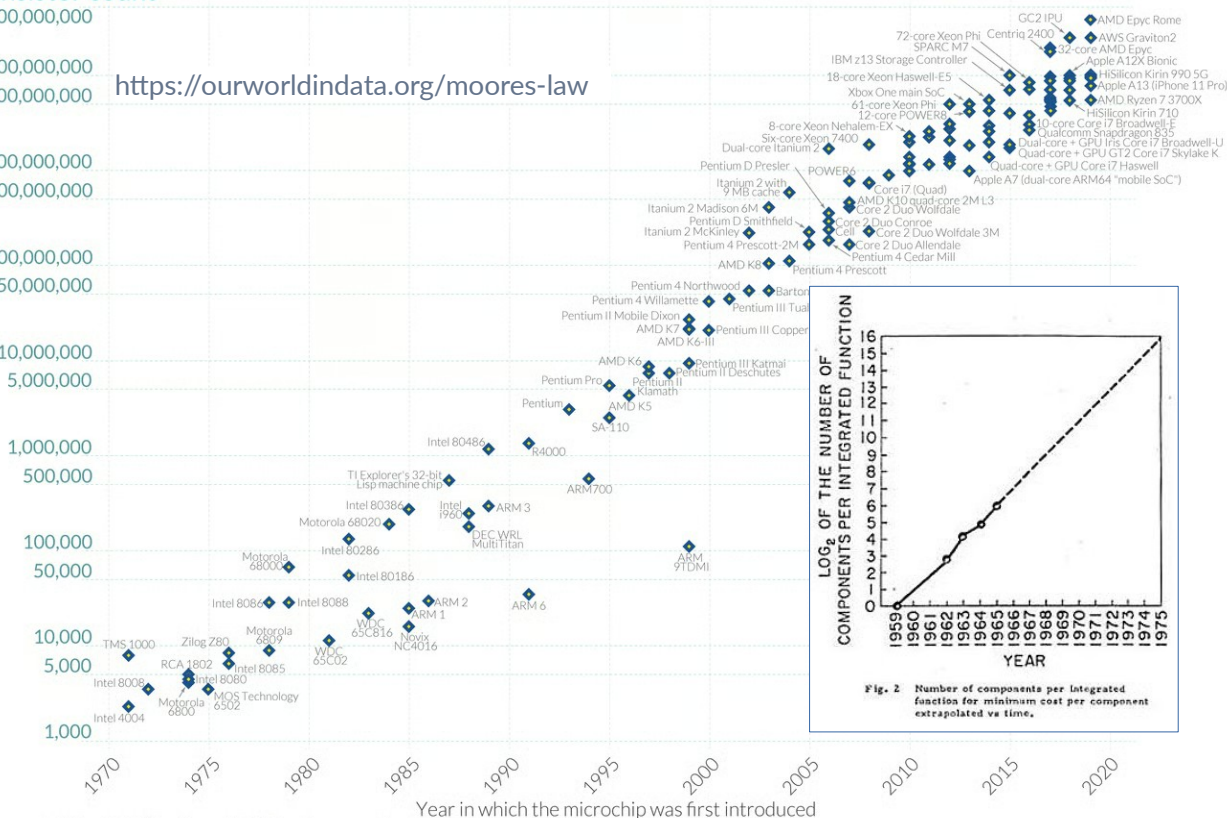
50,000

10,000

5,000

1,000

<https://ourworldindata.org/moores-law>



Data source: Wikipedia (wikipedia.org/wiki/Transistor_count)

OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

Проблема: Звичайне світло надто "грубе" для друку сучасних чіпів.



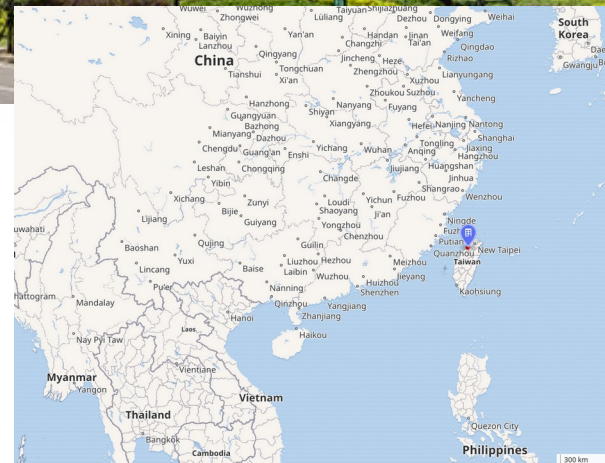
TSMC: Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited

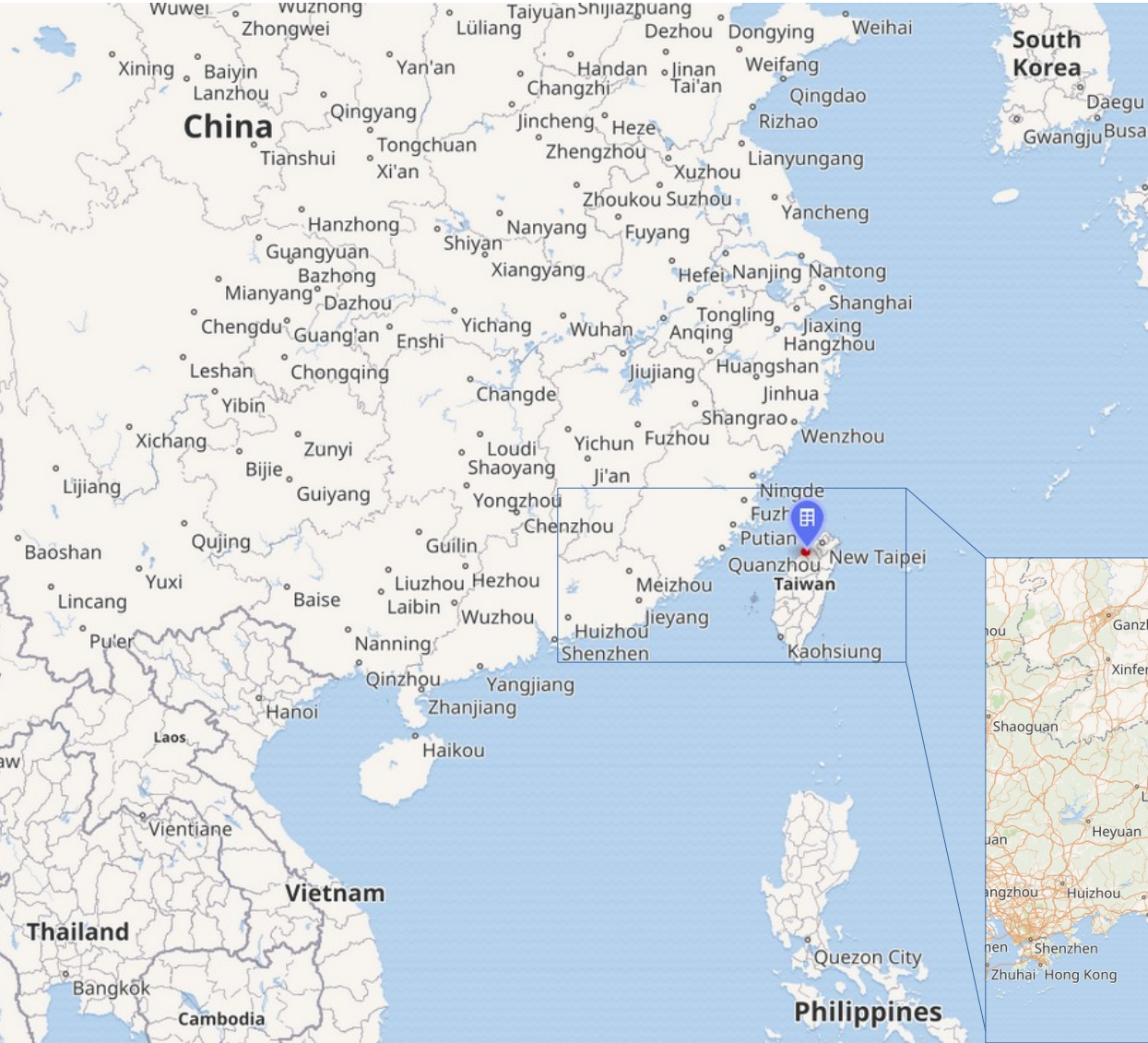
Тайванська компанія, яка купує обладнання ASML та виготовляє мікрочіпи для Nvidia, Apple, AMD, Broadcom, Sony, Google, Tesla ...

Контролює понад 90% ринку найдосконаліших мікрочіпів.

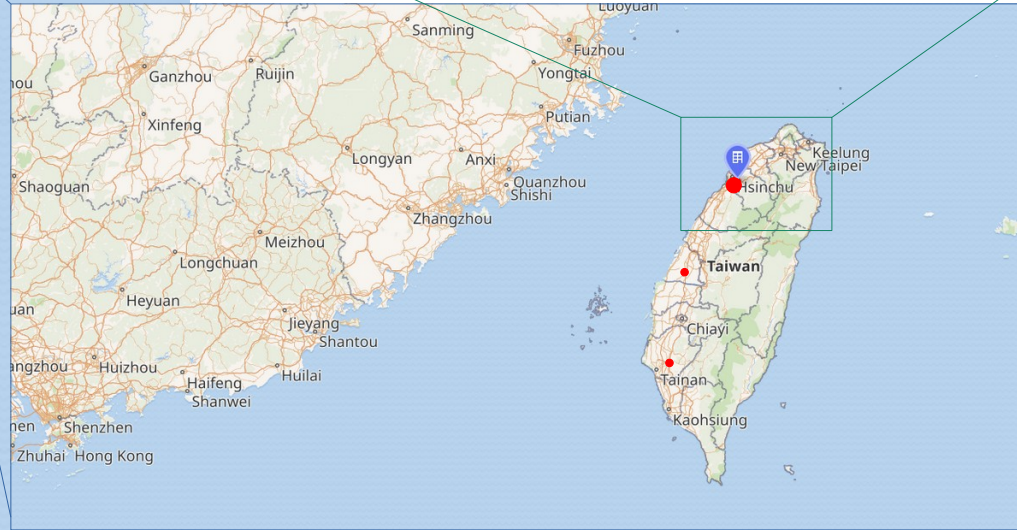
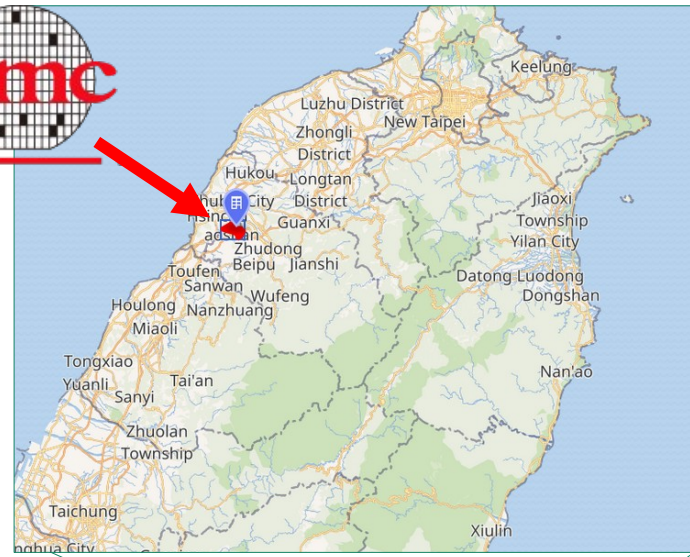
Заснована 1987 року в Hsinchu Science Park, Taiwan (засновник - Morris Chang) .

<https://www.tsmc.com>





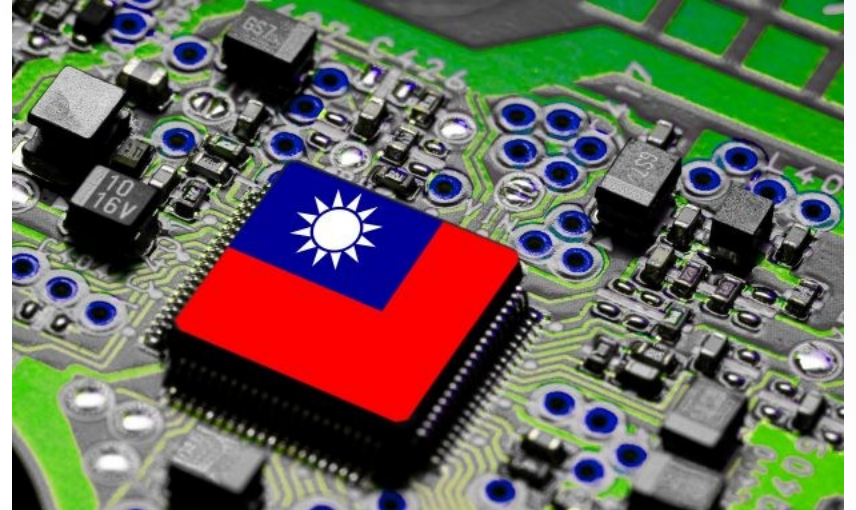
South Korea
Daegu
Gwangju Busan



"Кремнієвий Щит" Тайваню

Залежність світу від TSMC та ASML створює "Кремнієвий щит" навколо Тайваню, оскільки будь-який конфлікт зупинить світову економіку.

США та Європа інвестують мільярди (CHIPS Act), щоб виробляти найдосконаліші чіпи на своїй території



https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_shield

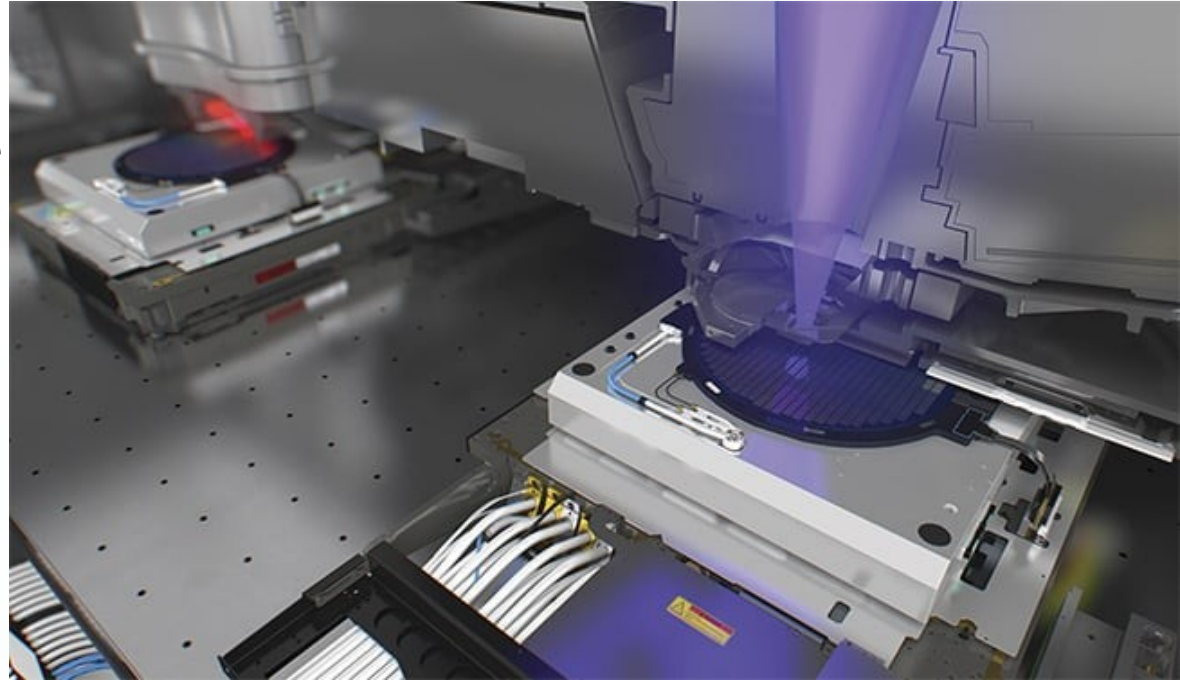
<https://thediplomat.com/2024/09/silicon-shield-2-0-a-taiwan-perspective/>

ASML - Advanced Semiconductor Materials Lithography Літографія передових напівпровідникових матеріалів



EUV - Extreme ultraviolet
Екстремальне ультрафіолетове
випромінювання (13.5 nm)

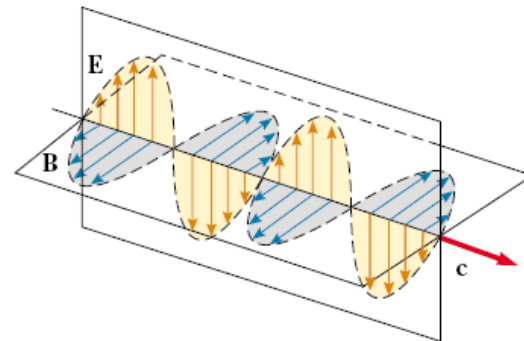
DUV - Deep Ultraviolet
Глибокий ультрафіолет
248 nm (KrF) or 193 nm (ArF)





Veritasium: The World's Most Important Machine - <https://www.youtube.com/watch?v=MtUHjLxm3V0>

Еволюція технології фотолітографії



DUV (Глибокий УФ)

193 нанометра.

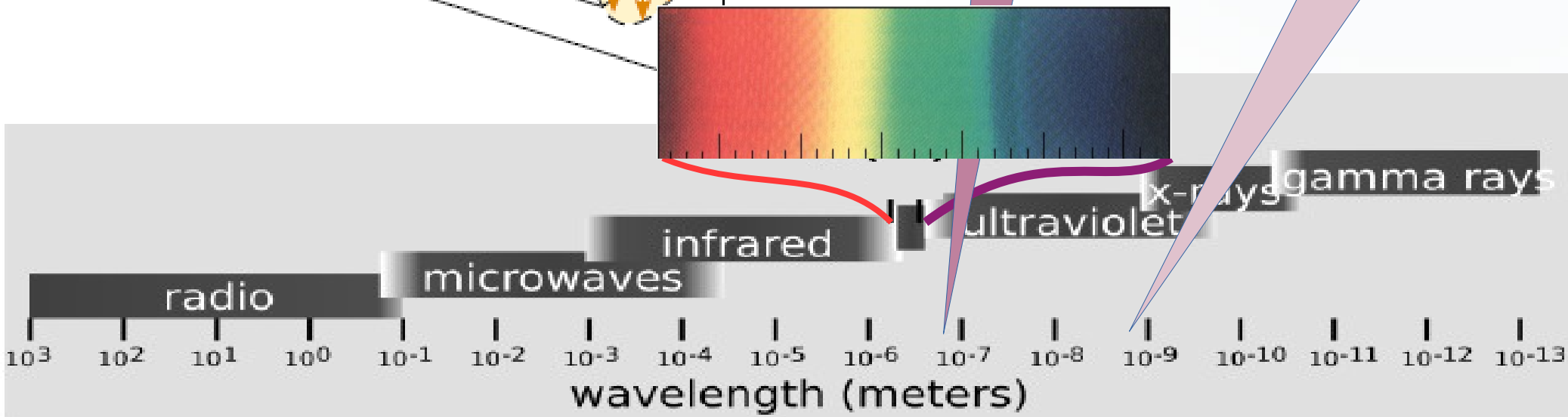
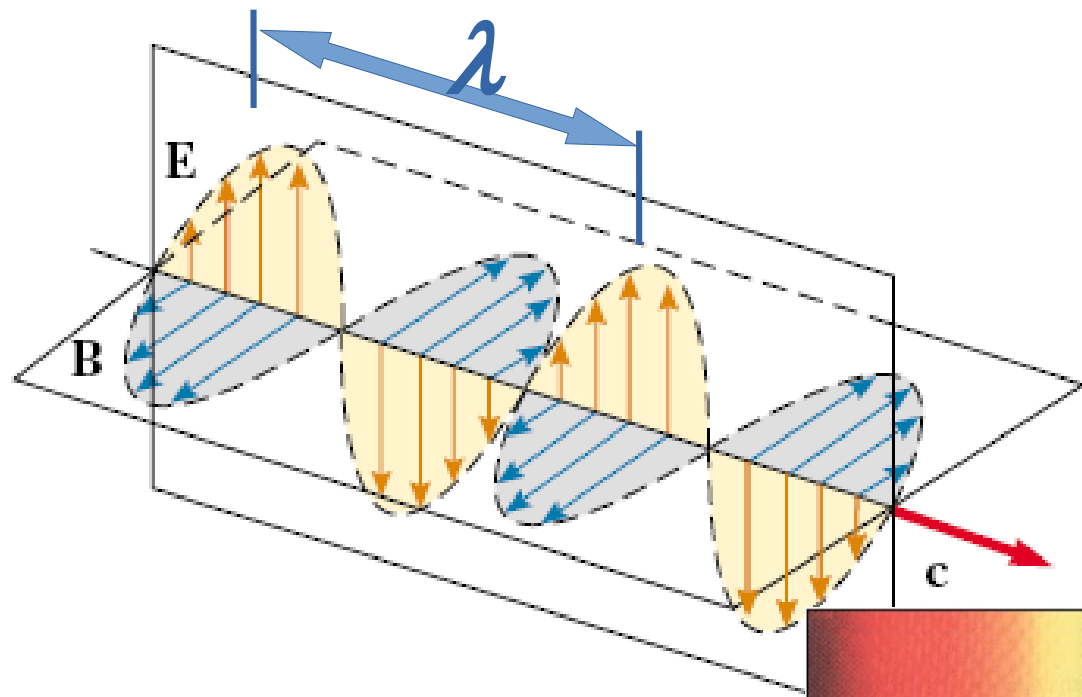
Використовувався десятиліттями для 7нм+ чіпів.



EUV (Екстремальний УФ)

13.5 нанометрів.

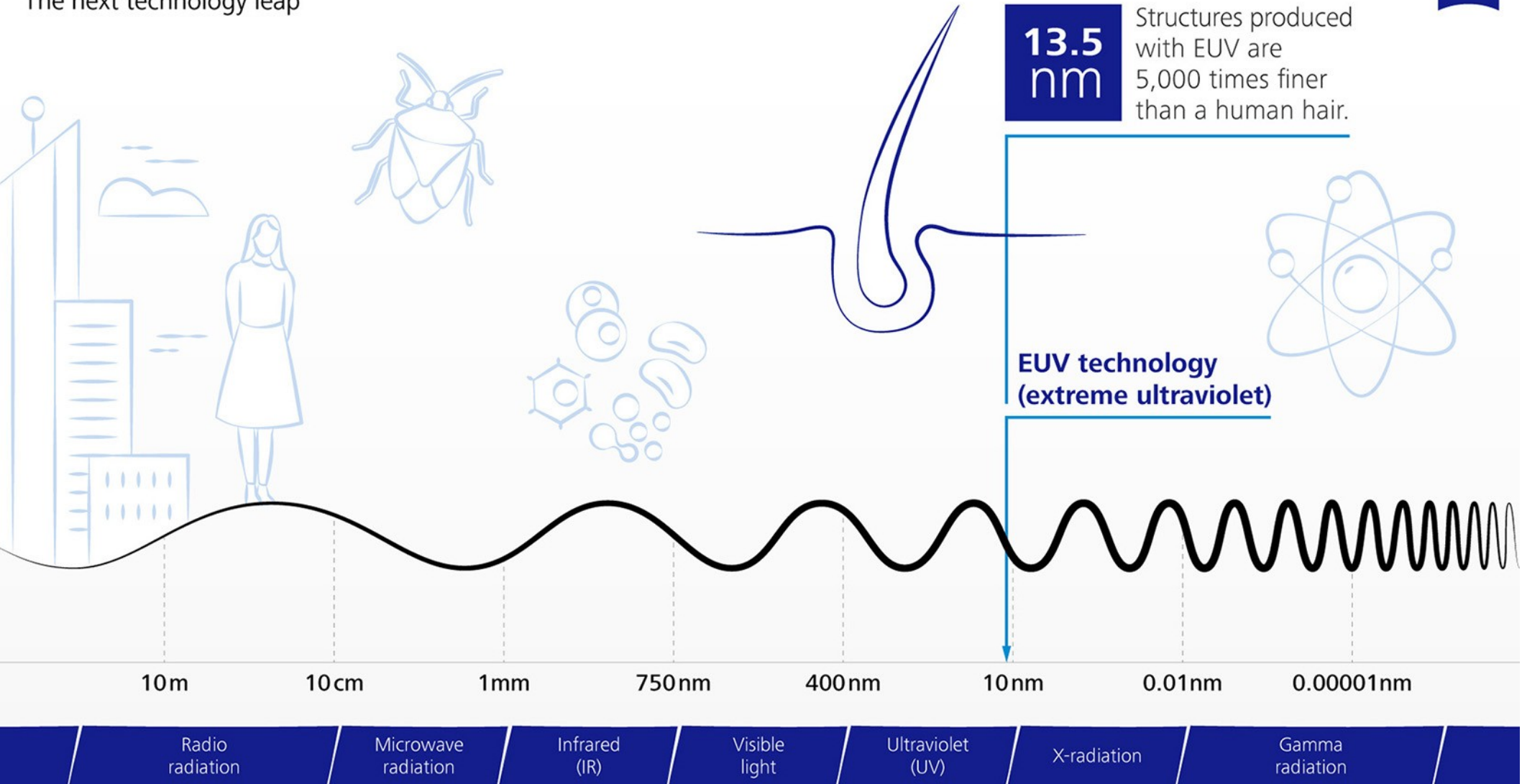
Прорив, що дозволив створювати 5нм та 3нм чіпи.



Shorter, more precise, thinner:

The next technology leap

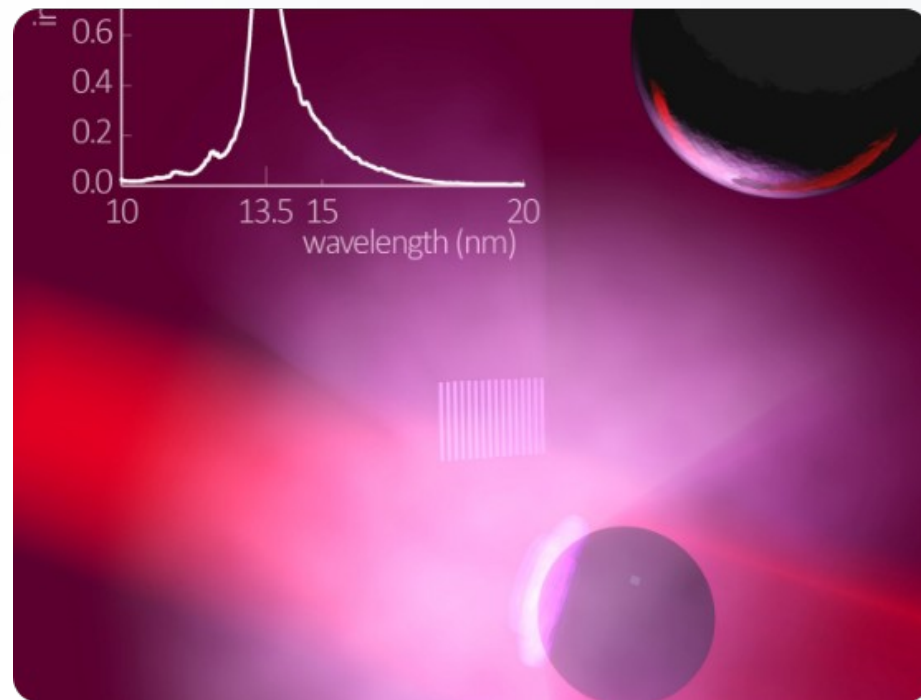
<https://www.zeiss.com/semiconductor-manufacturing-technology>



Природа EUV світла

EUV світло — це майже X-промені. Воно поглинається в середовищі, навіть у повітрі, тому весь процес відбувається у глибокому вакуумі.

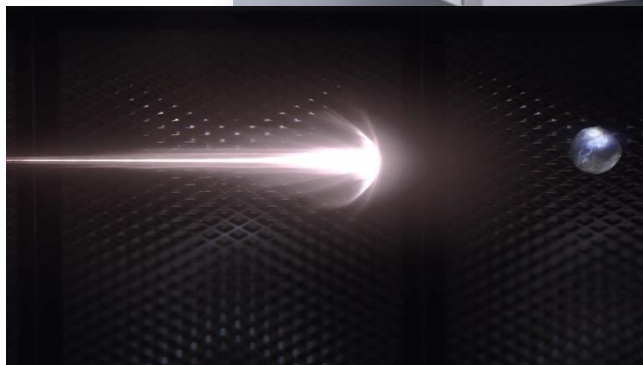
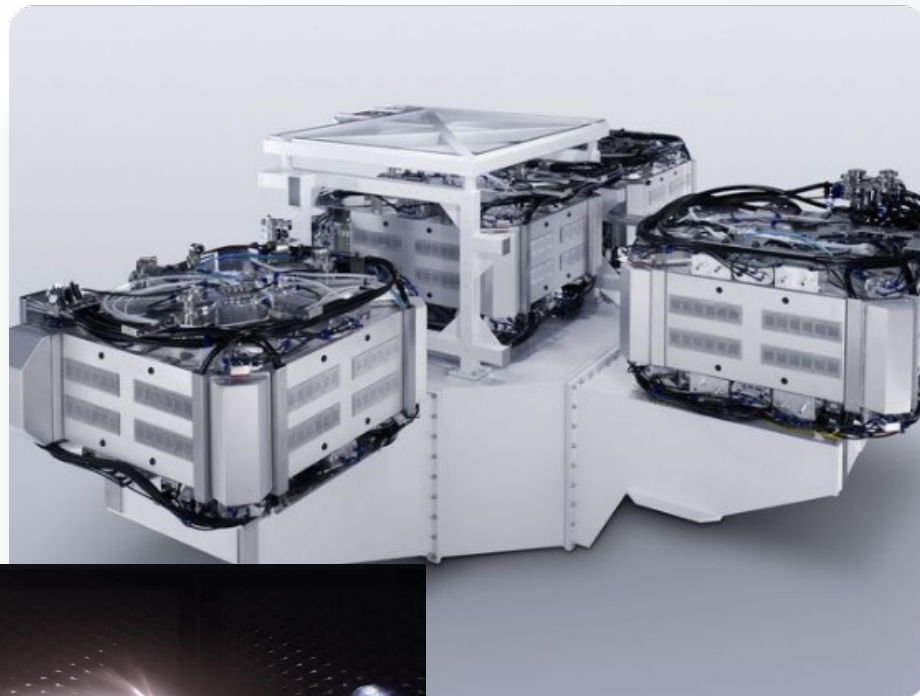
- ⇒ Повна відсутність повітря
- ⚙️ Високоенергетична плазма



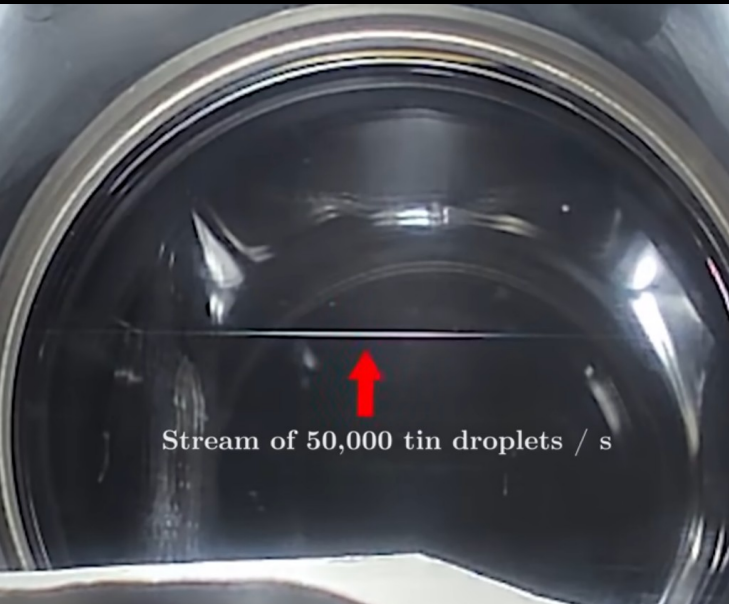
Генерація EUV: Вибух олова

Для отримання EUV лазер стріляє по краплях розплавленого олова 150000 разів на секунду, перетворюючи її на плазму.

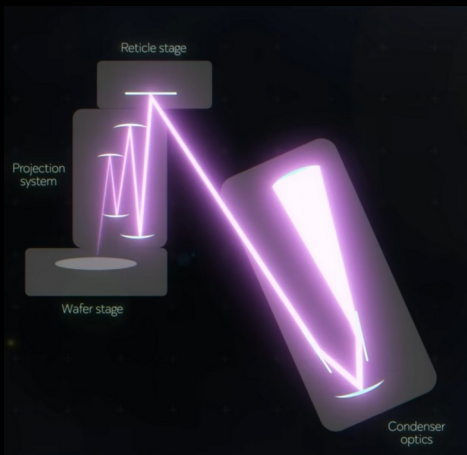
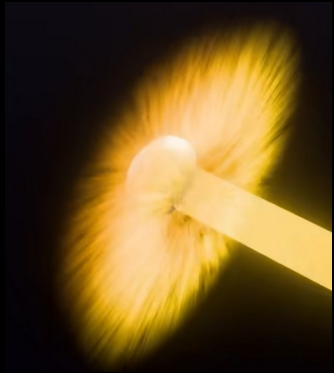
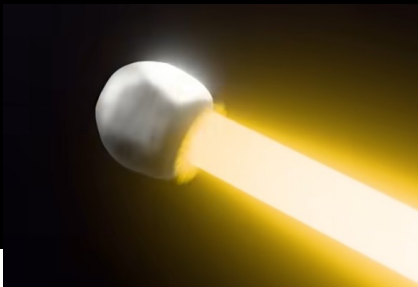
- 🔧 Точність лазера
- 🔥 Температура вища за поверхню Сонця



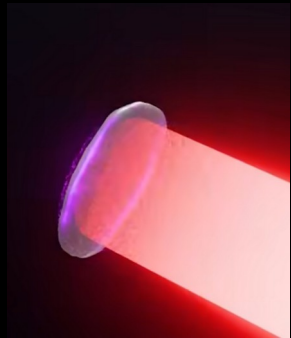
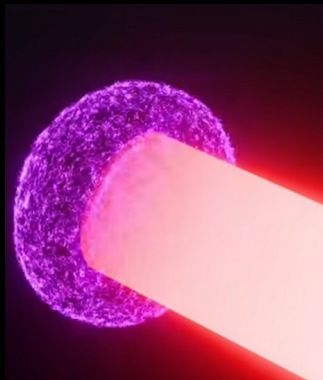
Джерело: TRUMPF Group



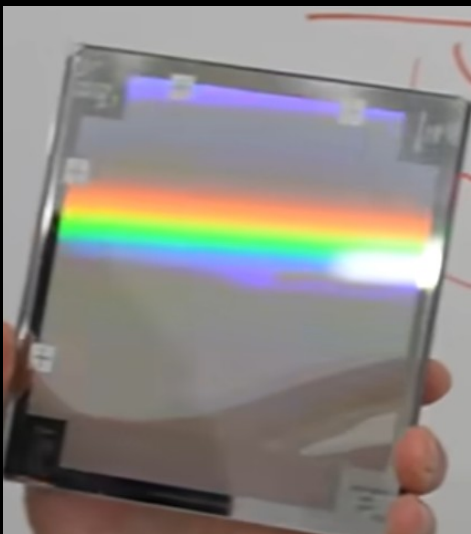
~30 microns → 250 km/h



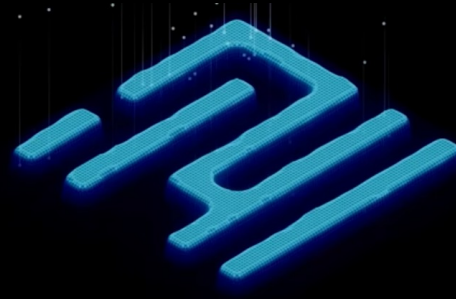
220000 K



Дифракційна
гратка
(маска)



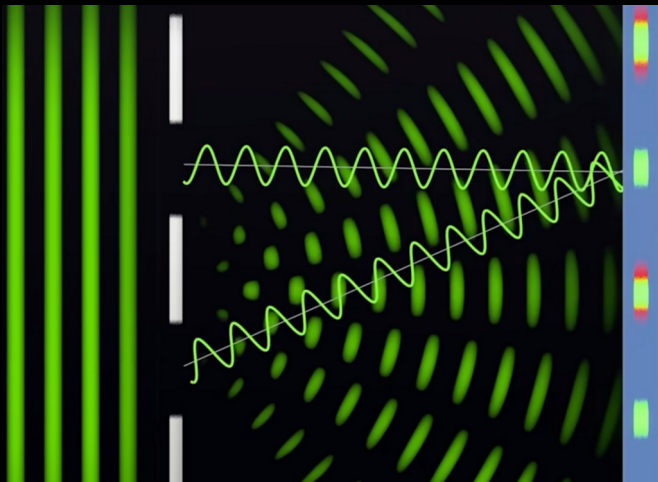
=



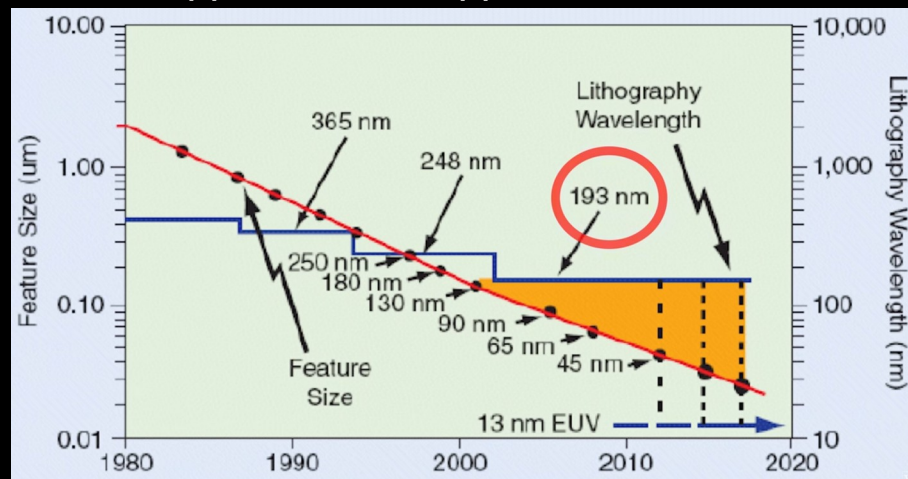
Транзистори на кремнієвій підкладці

+

Явище
інтерференції



Але є одне «але» - довжина хвилі ...

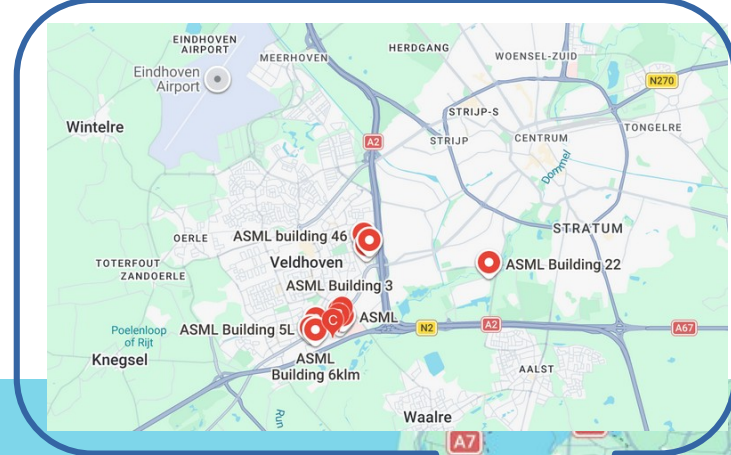
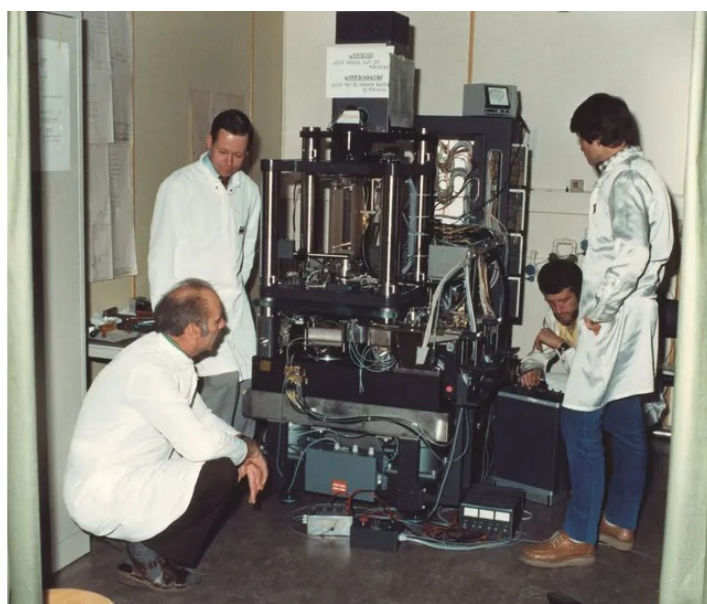


ASML: Advanced Semiconductor Materials Lithography

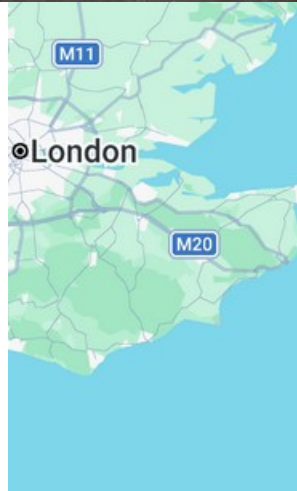
Єдина компанія у світі, що виготовляє принтери EUV.
Одна машина коштує понад \$200 млн і складається з 100000+ деталей.



Без ASML неможливо виготовити чіпи для iPhone 15 або нових AI-серверів NVIDIA.
Найбільші клієнти: TSMC, Samsung та Intel.



Компанія заснована у 1984 році
у Вельдховені (Нідерланди)



<https://gigacloud.ua/articles/asml-najdorozhcha-nevidoma-tehkompaniya-u-sviti/>

The ZEISS logo is displayed in white capital letters on a blue rectangular background.

EUV LITHOGRAPHY

EUV lithography optics from ZEISS

New light for digitalization

Materials

Si

Silicon

Mo

Molybdenum

Reflectivity

70%

Wavelength

~13 nm



Дзеркала Zeiss

Звичайні лінзи поглинають EUV. Zeiss створює найдосконаліші дзеркала у світі, щоб відбивати світло на кремній.

"Якби дзеркало було розміром з Німеччину, нерівності були б не вищими за 0.1 міліметра."



Джерело: Carl Zeiss SMT

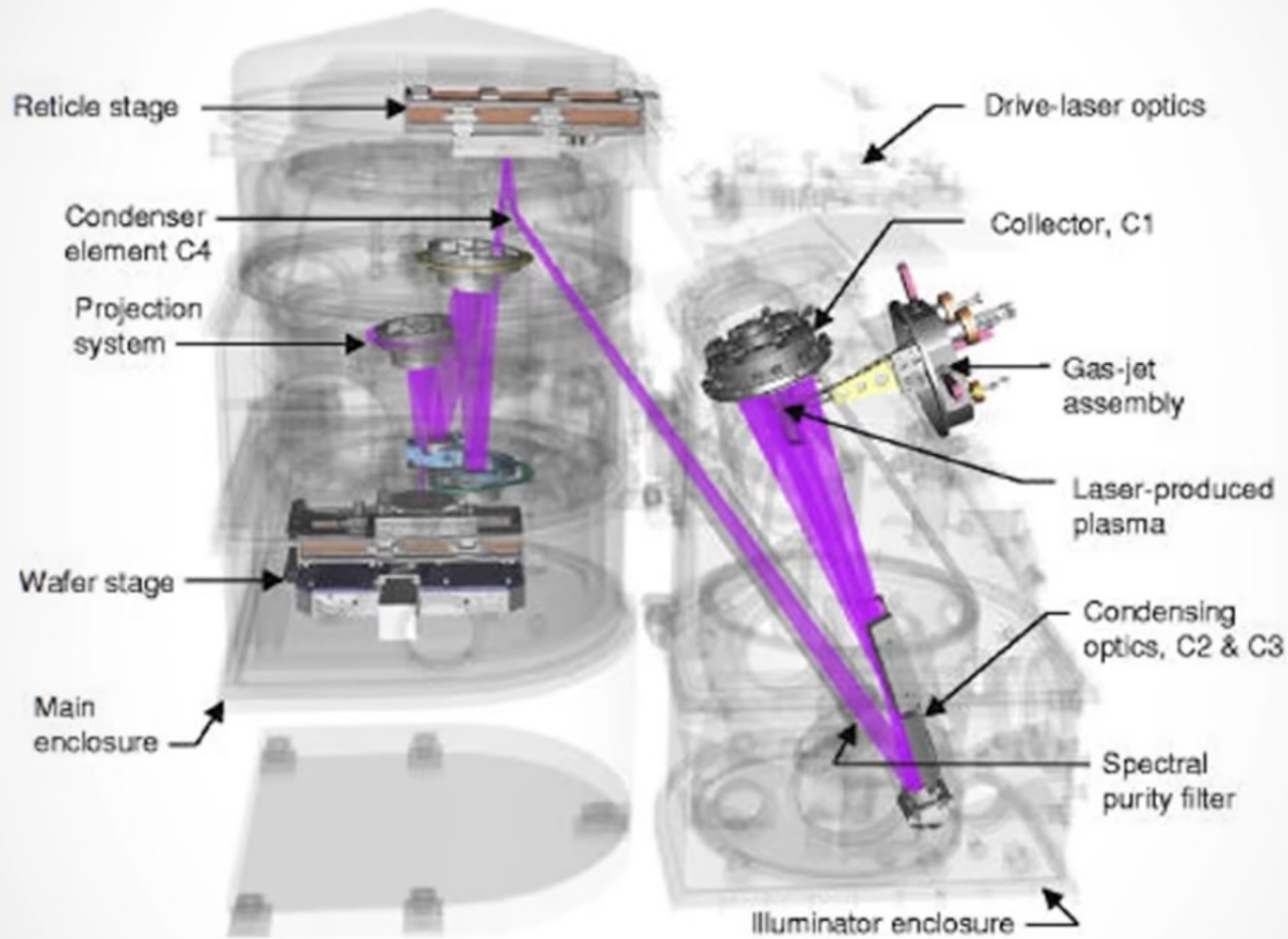


Figure 1. Solid model of the EUV Engineering Test Stand.

EUV (Екстремальний Ультрафіолет)

Довжина хвилі	13,5 нм
Оптика	Дзеркала
Середовище	Вакуум
Роздільна здатність	3-7 нм
Вартість	\$150M+

Тріада лідерства



ASML

Інтеграція та збірка
сканера



Zeiss

Оптика та дзеркала



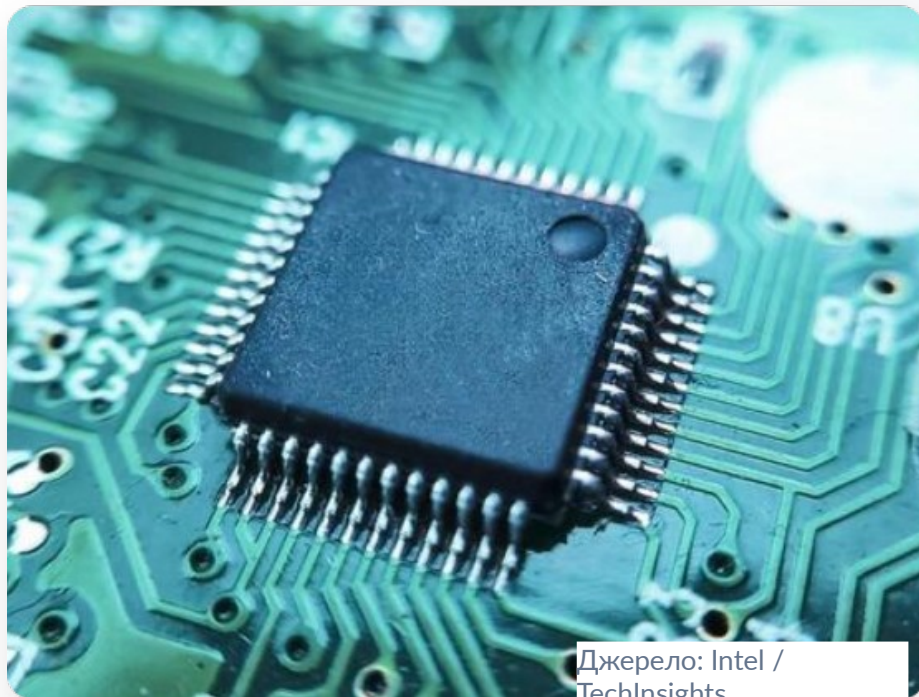
TSMC

Виробництво чіпів

Майбутнє: High-NA EUV

Наступне покоління сканерів (0,55 NA) дозволить друкувати структури розміром до 2nm та менше.

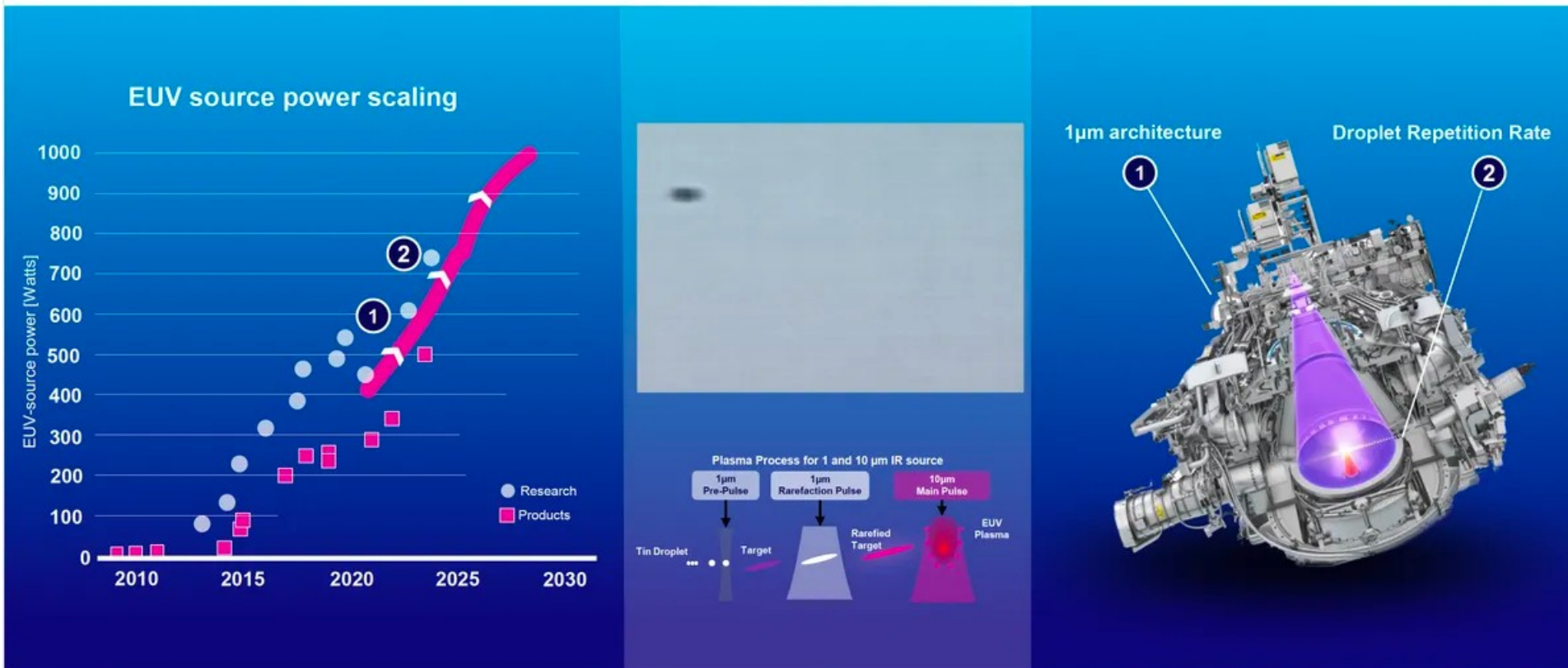
- ↑ Більша роздільна здатність
- 🧠 Швидший Штучний Інтелект



Джерело: Intel /
TechInsights

EUV source power continues to scale with opportunity to achieve >1000W

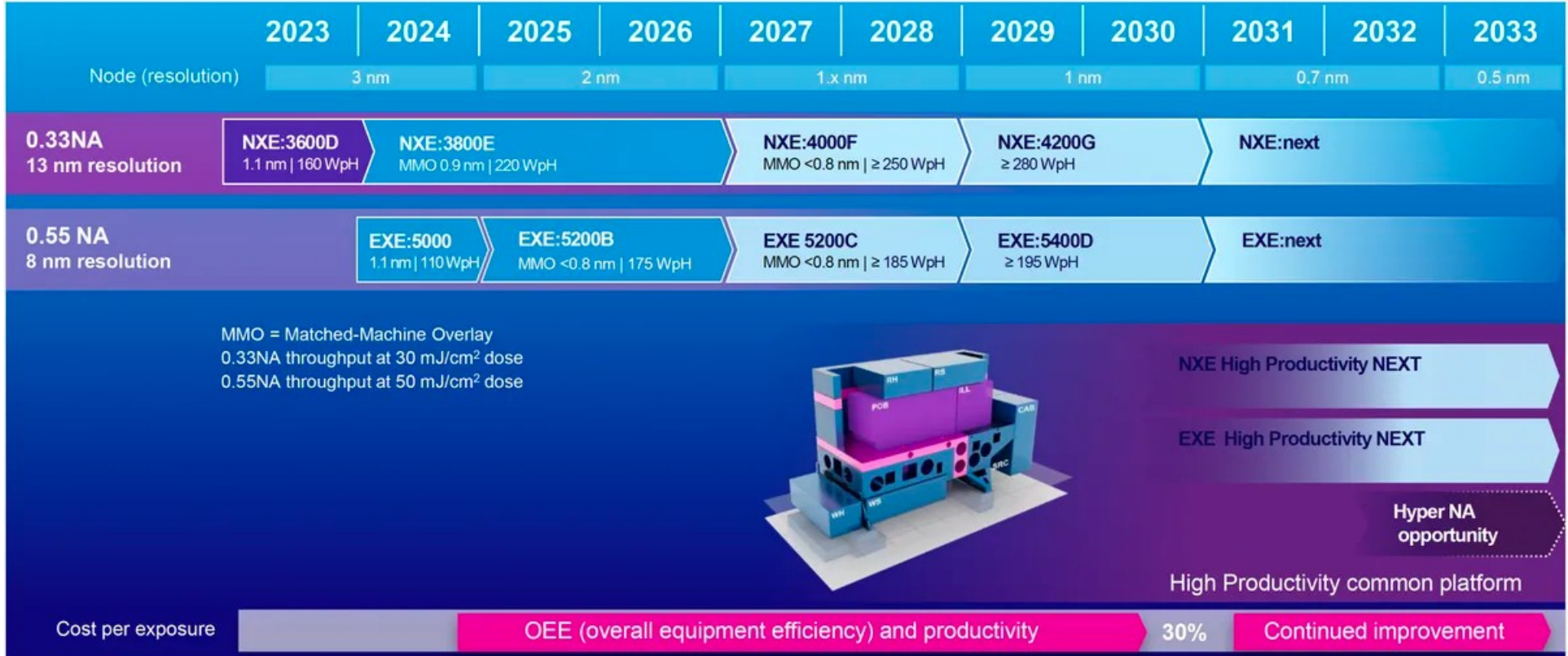
740W EUV power demonstrated - measures identified to reach >1000W in the future



<https://www.tomshardware.com/tech-industry/semiconductors/asml-makes-breakthrough-in-euv-chipmaking-tech-plans-to-increase-speed-by-50-percent-by-2030-new-1-000-watt-light-source-fires-three-lasers-at-100-000-tin-droplets-every-second>

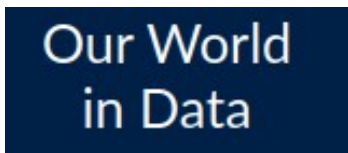
EUV product roadmap enabling affordable scaling

Towards high productivity platform for 0.33NA EUV, 0.55NA EUV and potentially hyper NA in the next decade



<https://www.tomshardware.com/tech-industry/semiconductors/asml-makes-breakthrough-in-euv-chipmaking-tech-plans-to-increase-speed-by-50-percent-by-2030-new-1-000-watt-light-source-fires-three-lasers-at-100-000-tin-droplets-every-second>

Використані джерела:



ЕЛЕКТРОННЕ НАВЧАННЯ В ТНТУ

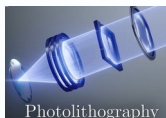
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя



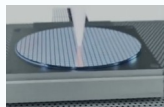
Що б таке ще послухати/подивитися?



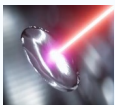
[How are Microchips Made? !\[\]\(25569caef9d46f0e37a5ba4bb4eaed0e_img.jpg\) !\[\]\(0a94712094653044a6bba2d7baa3cee7_img.jpg\) CPU Manufacturing ...](#)



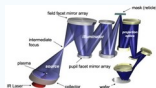
[НАЙВАЖЛИВІША МАШИНА У СВІТІ \[VERITASIUM\]](#)



[ASML: Чому від неї залежать всі компанії світу?](#)



[Unveiling High NA EUV | ASML](#)



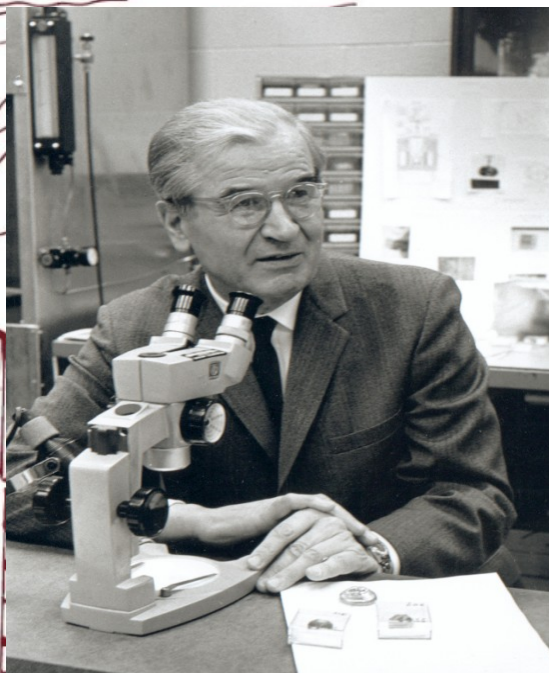
[The Extreme Engineering of ASML's EUV Light Source](#)



[The \\$200M Machine that Prints Microchips: The EUV Photolithography System](#)



**2 лютого —
День народження
Івана Пулюя**



**9 вересня —
День народження
Олександра Смакули**

