Europas vigtigste maskine tegner verdens mest avancerede chips

Maskiner fra den hollandske virksomhed ASML tegner i dag alle de meste avancerede computerchips i verden. Virksomhedens teknologiske succes bygger på en særlig type lys, kaldet ekstremt ultraviolet lys, som det tog mange år at lære at beherske.

■ Af Oskar Stanislav Matras

■

OSKAR STANISLAV MATRAS

Oskar Stanislav Matras er student fra Vordingborg Gymnasium & HF. Han skrev srp om EUV-litografi i fagene fysik og dansk.
Oskar brænder for fysik og teknologi og drømmer om at arbejde med teknologi og videnskab, der for alvor rykker verden fremad ligesom ASML's vilde teknologi.

oskarstanislav@gmail.com

Dybt inde i en hollandsk fabrik står der en maskine, som 50.000 gange i sekundet skyder bittesmå tindråber ud, som drøner afsted med 100 meter i sekundet. Tindråberne bliver ramt af en kæmpe laser, der tilintetgør dem i et lysglimt varmere end solens overflade. De forvandles til en sky af glødende ioner. Som bruges til at tegne mikrochips med.

Sådan kunne beskrivelsen af en maskine i en Blockbuster-film af George Lucas måske lyde, men i modsætning til Star Wars er det her faktisk virkelighed. Og den maskine, der bliver beskrevet, er en EUV-litografimaskine hos den hollandske virksomhed ASML. For ASML er de eneste i verden, der kan bygge en sådan maskine. Maskinen er så avanceret, at selv George Lucas ville få svært ved at finde på de krumspring, der kræves for at producere det lys, som EUV-litografi bygger på.

I denne artikel vil jeg fortælle om nogle af de elementer, der ligger til grund for EUV-litografi, og hvordan det har gjort alt fra telefonen i din lomme til AI-revolutionen mulig.

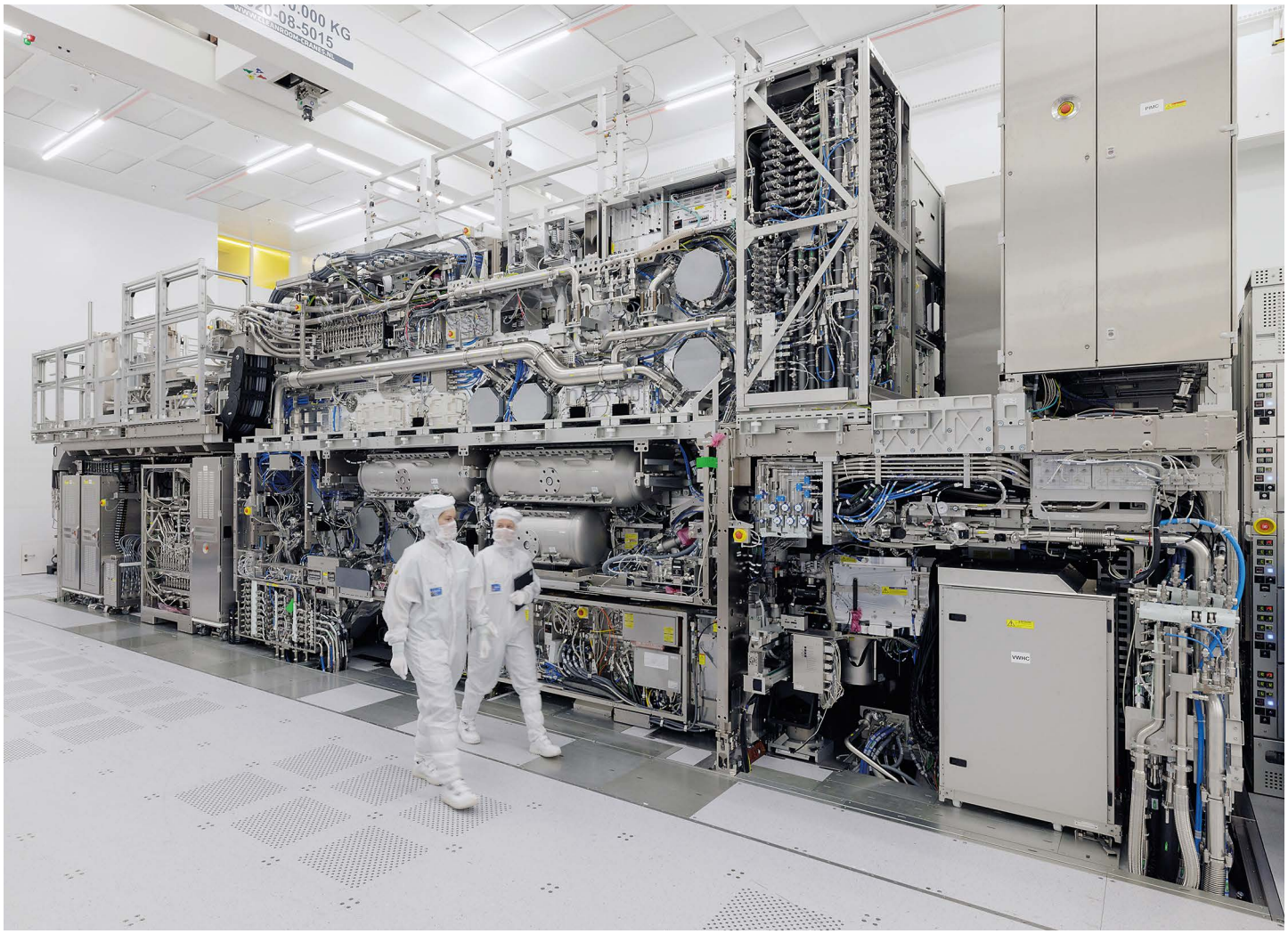
Sådan fremstiller man EUV-lys

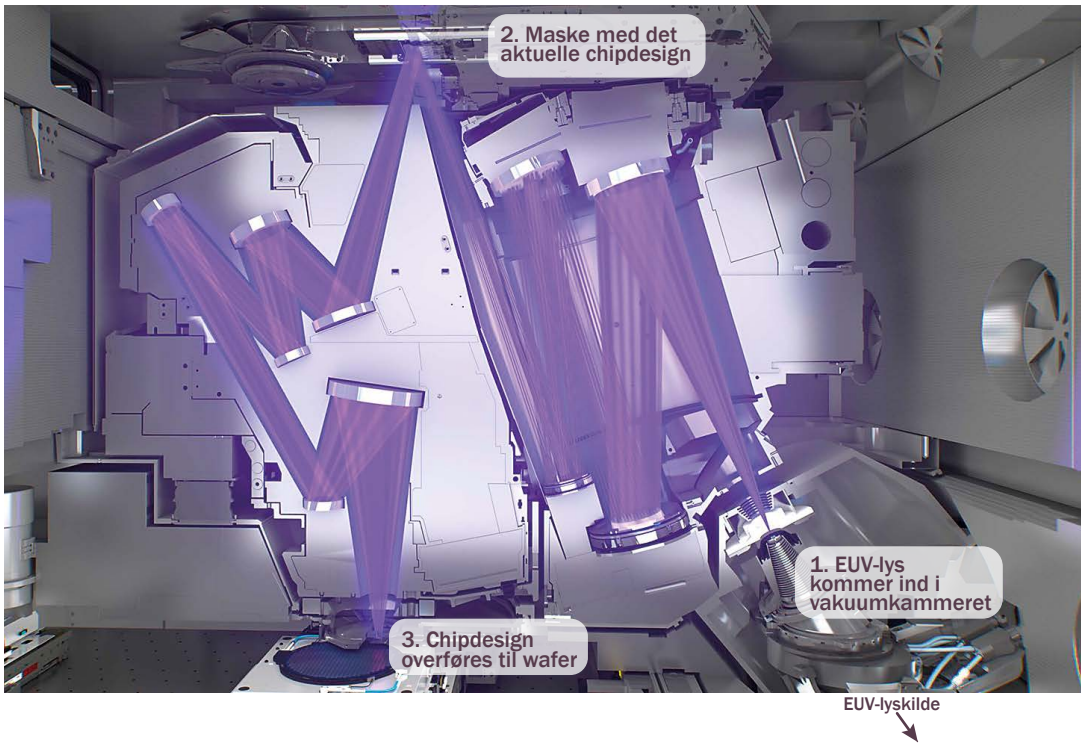
For at lave det lys – Ekstremt Ultraviolet (EUV) lys – som er hemmeligheden bag EUV-litografi, starter du med den kraftigste laser, du kan finde – en industri-CO_2-laser er her det foretrukne værktøj. For at opnå den nødvendige energi lader du lyset fra laseren passere gennem en række forstærkere, indtil det rammer en effekt på 25 kilowatt (kW). Nu skal du sigte meget præcist: Lysstrålen skal nemlig ramme en mikroskopisk dråbe tin, der ikke er større end diameteren af et menneskehår. Og for at udnytte energien i din laser optimalt, affyrer du ikke bare et, men to skud lige i rap.

Det første skud er svagt og skal bare flade tindråben ud til en lille pandekage. Det gør arealet større, så det næste og langt kraftigere skud kan få mere kontakt. Når det andet skud med den fulde effekt på 25 kW rammer, rives tindråben fuldstændigt fra hinanden og forvandles til en glødende plasmasky. I plasmaskyen optræder tinatomerne i en tilstand af ioniseret gas, og når de ladede tinatomer straks efter falder tilbage til en lavere energitilstand, frigiver de deres overskydende energi som lys. Ekstremt Ultraviolet (EUV) lys med en bølgelængde på 13,5 nanometer (nm).

Kun 5 procent af laserenergien ender som EUV-lys. De resterende 95 procent forsvinder som røntgenstråling og varmeenergi i plasmaet. Det er ikke noget designproblem, men simpelthen bare, hvad der sker, når du river tinatomer fra hinanden ved 200.000 grader. Selvom 5 procent ikke lyder som særlig meget, er det faktisk enormt meget. En enkelt EUV-foton bærer 40 gange mere energi end en foton af synligt lys. En enkelt laserpuls har en energi på 10 millijoule, og med en konverteringseffektivitet på 5 procent, produceres der 3,4 billarder EUV-fotoner per puls. Da det foregår 50.000 gange i sekundet, giver det rigeligt med fotoner til at skabe en EUV-lyskilde, der kan bruges til praktiske formål.

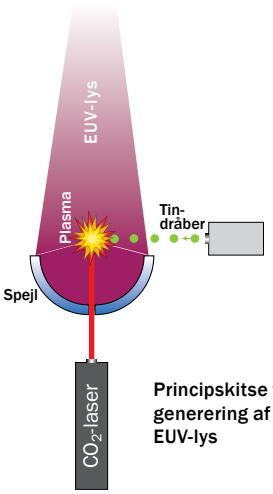
Det vilde ved de 5 procent er, at det faktisk er et rekordhøjt resultat opnået efter flere



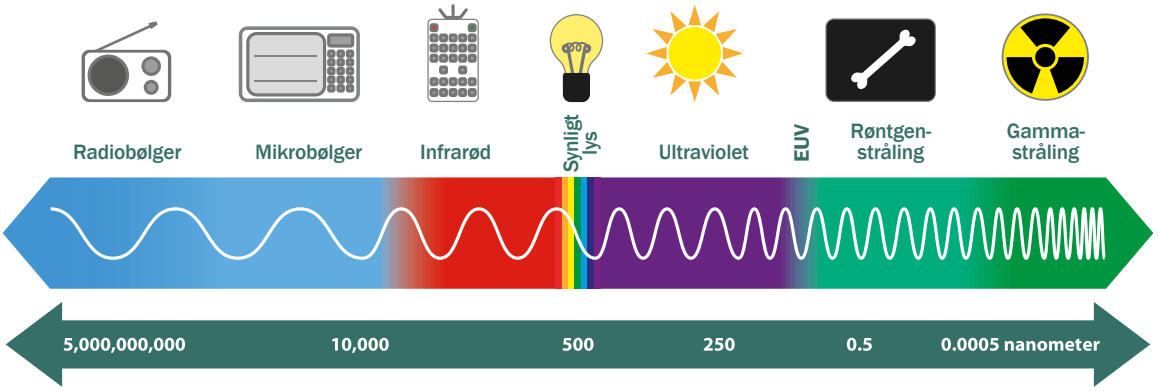


På billedet ses indmaden af en af ASML's avancerede litografimaskiner i Veldhoven, Holland. Sådan en maskine kan købes for en pris i omegnen af 2,5 milliarder kroner.

På illustrationen til venstre ses EUV-lysets snørklede vej fra lyskilden til waferen indeni maskinen.
Foto og grafik: ASML



Principskitse for generering af EUV-lys



Figuren viser det elektromagnetiske spektrum. Ekstremt Ultraviolet Lys (EUV) er bølgelængder i området mellem 10 og 121 nanometer. Til chipproduktion bruges EUV-lys med en bølgelængde på 13,5 nanometer.
Figur tilpasset efter Shutterstock.

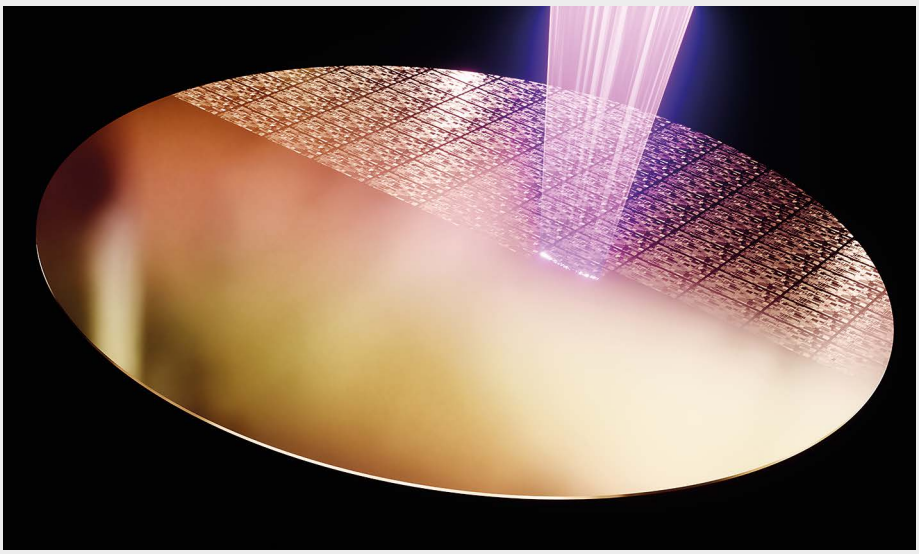
SÅDAN FREMSTILLES AVANCEREDE MIKROCHIPS

Fremstilling af moderne mikrochips kræver enorm præcision og foregår i ultrarene rum, da de mindste støvpartikler nemt kan ødelægge chippen. Udgangsmaterialet er sand, der primært består af kvarts (siliciumdioxid, SiO_2). Fra dette laves silicium med en renhed på 99,9999999% formet som cylindriske krystaller. Disse skæres ud i ultratynde siliciumskiver, kaldet wafere.

Derefter er rækkefølgen af trin i fremstillingsprocessen:

- Typisk deponeres et tynd film på overfladen, som kan være et ledende materiale, en isolator eller en halvleder.
- Waferen coates med et lysfølsomt materiale og sendes ind i litografimaskinen fra ASML.
- Maskinen projicerer ekstremt ultraviolet lys (EUV-lys) ned på waferen gennem en maske, der indeholder selve chippens design (med milliarder af transistorer). Dermed printes chippen på waferens overflade.
- Når waferen kommer ud af litografimaskinen, opvarmes den, og det lysfølsomme lag vaskes væk fra områder, som ikke er hærdet af belysningen.
- Overfladen ætses, så der udgraves nanosmå riller og strukturer ned i siliciummet, der hvor det lysfølsomme materiale er fjernet. Dermed bliver det printede mønster tredimensionelt.
- Waferen bombarderes med positive eller negative ioner for at "dope" silicium og dermed fintune dets elektriske egenskaber.
- Endelig fjernes det tilbageværende lag af det lysfølsomme materiale.
- Disse trin kan gentages op til hundrede gange for at opbygge den komplekse 3D-struktur af de enkelte chips. Når strukturerne er helt færdige, testes hver enkelt chip på waferen for fejl. Fungerende chips skæres derefter ud og pakkes i et hus, hvor de elektriske kontakter tilsluttes, og chippen er klar til brug.

Kilde: ASML



Stillbillede fra en animation, der viser et chipdesign blive overført til en silicium-wafer ved hjælp af EUV-lys. Billede: ASML

års forskning. Tin er det eneste stof, man har fået til at komme i nærheden af 5 procent. Den effektivitet, der kan virke skuffende lille, er i virkeligheden en af grundene til, at EUV-litografi overhovedet er mulig.

Ideen ingen troede på

For at forstå, hvordan en af det 21. århundredes mest imponerende teknologiske bedrifter blev til, skal vi skrue tiden helt tilbage til 1980'erne. Dengang blev selve ideen om at tænme lys med en bølgelængde på 13,5 nm betragtet som nærmest umulig. Idet EUV-lys absorberes af næsten alle materialer, mente de fleste forskere, at det var en teknologisk blindgyde. Da den japanske forsker Hiroo Kinoshita i 1986 præsenterede en ide om at bruge en ny type spejle til at reflektere lyset, nægtede hans kollegaer simpelthen at tro på det.

Året efter præsenterede den amerikanske forsker Andy Hawryluk en lignende ide, med den tilføjelse, at teknologien potentielt kunne bruges til at lave mikrochips. Derefter blev han bogstaveligt talt grinet ned af scenen.

Det var først 15 år senere, at de to forskeres idé blev taget op igen, og det var kun fordi hele mikrochipindustrien var i panik. Siden 1976 havde industrien været i stand til at fordoble antallet af transistorer på en mikrochip hvert andet år – en vækst kendt som Moores lov efter den amerikanske forretningsmand og ingeniør Gordon Moore. Men omkring årtusindeskiftet så Moores lov ud til at være døende.

Problemet bundede i det, fysikere kalder Rayleigh-kriteriet. I sin mest simple form fortæller det os, at størrelsen på de detaljer, du kan tegne med lys, er direkte afhængig af lysets bølgelængde. Forestil dig, at du skal male et flot og detaljeret maleri. Hvis din pensel er en bred malerrulle, er det fuldstændig ligegyldigt, hvor rolig en hånd du har, det er fysisk umuligt at male noget som helst detaljeret.

Før EUV-revolutionen brugte industrien lys med en bølgelængde på 193 nanometer. Men transistorerne var ved at blive så små, at lyset simpelthen var for "tykt" til at skære de fineste små detaljer.

EUV-litografi – fra malerrulle til spids pensel

Hvis den teknologiske udvikling skulle fortsætte, var der altså brug for helt ny teknologi, der brugte lys ved endnu mindre bølgelængder.

Teorien om de utrolige spejle og utæmmelige lys så derfor lige pludselig slet ikke så latterlig ud mere. For det lille firma ASML i den stille hollandske by Veldhoven, som lavede litografimaskiner til mikrochipindustrien, så ideen endda ganske glimrende ud. De begyndte i slutningen af 1990'erne at studere muligheden for at bygge en maskine, der udnyttede det sagnomspundne EUV-lys til at tegne mikrochips. Det lykkedes – men det var en svær nød at knække: Først i 2015 var de i mål.

Da den første telefon med en EUV-chip kom på gaden i 2018, mærkede verden umiddelbart ingenting. Det var ikke en verdensomspændende sensation i nyhederne. Det var bare en telefon, marginalt hurtigere end den forrige.

Men i praksis var der tale om en revolutionerende teknologisk udvikling. Ved at tage det absurde spring til EUV-lys med en bølgelængde på kun 13,5 nanometer havde ASML groft sagt skiftet industriens malerrulle ud med en malerpensel, så spids, at ingen andre hidtil har kunnet gøre dem kunsten efter. Og i dag er det således ASML's EUV-litografimaskiner, der tegner alle de mest avancerede chips, der står bag alt fra AI-revolutionen og dansende robotter til de iranske kamikaze-droner.

Bliver monopolet brudt?

I mere end 10 år har en lille hollandsk by altså været det eneste sted i verden, hvor man ved, hvordan man bygger EUV-maskiner til at tegne mikrochips. Men konkurrencen i mikrochipindustrien er benhård, og stormagterne USA og Kina forsøger af al magt at gøre sig uafhængige af andre lande, når det gælder teknologi af kritisk strategisk betydning. Derfor investerer de mange ressourcer i at gøre sig uafhængig af maskiner fra ASML – enten ved at lave litografimaskiner, der bygger på anden teknologi end EUV-lys, eller simpelthen ved at gøre ASML kunsten efter.

Det forlyder, at det faktisk nu er lykkedes kineserne at bygge en fungerende EUV-litografimaskine, så de indenfor de næste par år vil kunne begynde at tegne de mest avancerede mikrochips med egne maskiner.

Fremstillingen af mikrochips er øvrigt også ømfindtlig, fordi langt størstedelen foregår i Taiwan, som Kina gør krav på. Hvis det kommer til en voldelig konflikt om Taiwan i den nærmeste fremtid, er det derfor ikke godt at vide, hvad der sker med verdens mikrochip-produktion.

Alt i alt går både ASML og resten af verden en spændende tid i møde! ■

PRØV SELV AT LAVE EUV-LYS

Ved at scanne QR-koden kan du selv prøve at eksperimentere med en række parametre for at se, hvordan man opnår det største udbytte af EUV-lys. Til de mere nørdede er der også en liste over, hvilke formler der bliver brugt til beregningerne.
digisim.io/museum/euv-lithography

VIDERE LÆSNING

ASML
www.asml.com/en/products/euv-lithography-systems

Video om ASML's maskiner på YouTube-kanalen Veritasium:
The worlds most important machine