

# EXPERT ZONE

Hoe wordt een chip geproduceerd?

## Lithografie op kleine schaal

ASML maakt machines die Intel en AMD gebruiken om hun chips te 'bakken'. Wij mochten een dagje meekijken over de schouders van ASML's ingenieurs. • K.V.D



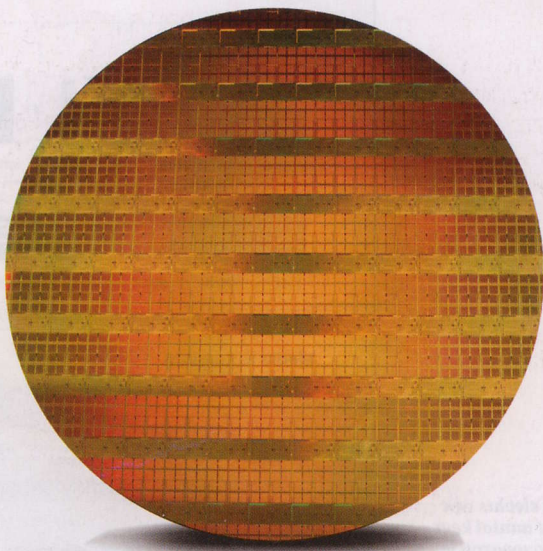
De naam zegt je waarschijnlijk weinig, maar ASML in Veldhoven (Nederland) is de marktleider op het gebied van lithografische machines, toestellen die ingezet worden in de productie van chips. De technologie in deze peperdure (tientallen miljoenen) machines blijkt minstens zo indrukwekkend als de processors die ze maken.

De bouwsteen van een chip is een transistor, een elektronische component die afhankelijk van z'n toestand een elektrische stroom kan doorlaten of blokkeren. Een moderne processor zoals Intel's Core 2 Quad Q9650, telt niet minder dan 820 miljoen

van deze transistors, op een oppervlakte van slechts 214 mm<sup>2</sup>. De basis voor het productieproces van zo'n processor is een wafer, een perfect gladde schijf uit zuiver silicium. Een typische wafer die voor de productie van processors wordt gebruikt, heeft een doorsnede van 300 mm, waar meerdere honderden chips op passen. Deze chips zijn opgebouwd uit meerdere lagen; constructies van meer dan dertig lagen zijn niet ongebruikelijk. De lagen worden van elkaar gescheiden met een laag niet-geleidend materiaal zoals siliciumoxide of hafnium. Voor elke laag die aan de chip wordt toegevoegd, moet de wafer een aantal opeenvolgende stappen doorlopen (zie kader rechts).

### Technologische uitdagingen

De toestellen van ASML nemen de vijfde stap, het belichten van de wafer, voor hun rekening. Een lichtbron valt door een reticle, een kwartsplaat die het patroon van de te belichten laag bevat. Deze lichtbundel wordt door een complex lenzensysteem gefocust tot op het formaat van een individuele chip. Aangezien er telkens slechts één chip belicht wordt, moet de wafer onder de lens door verplaatst worden. Hierbij accelereert de wafer met een versnelling van 88 m/s<sup>2</sup>, dubbel zo snel dan een gevechtsvliegtuig dat met een stoomkatapult wordt gelanceerd, om dan vervolgens tot op twee nanometer (2 nm) nauwkeurig tot stilstand te komen om een volgende chip te belichten. In de modernste ASML-systemen bevinden zich steeds twee wafers. Terwijl de ene wafer wordt belicht, wordt een volgende wafer uiterst precies uitgemeten. Aan de hand van het resultaat van deze uitmeting kan bij het belichten door kleine correcties in het lenzensysteem gecompenseerd worden voor onregelmatigheden in de oppervlakte van de wafer.



Chips worden met vele honderden tegelijk geproduceerd op een wafer. Dit is een 30 cm-wafer van Intel met geheugenchips.

## Schaal

ASML zelf vat haar missie zo samen: 'Print dunne lijnen, print deze snel, en leg dertig tot veertig van deze lijnenpatronen perfect op elkaar.' Klinkt eenvoudig, tot je beseft op welke kleine schaal één en ander gebeurt. De contactpunten tussen de verschillende lagen hebben bijvoorbeeld maar een overlap van 2 nanometer. Om je een idee te geven: een menselijk haar is ongeveer 50.000 nm dik. Als je een wafer met een doorsnede van 30 cm zou uitvergroten tot de oppervlakte van Nederland, dan komt 1 nm overeen met 1 mm.

De golflengte van het licht dat gebruikt wordt om de wafer doorheen de reticle te belichten, beperkt de dikte van de lijnen die geprint kunnen worden. In productie-omgevingen worden ultravioletlasers met een golflengte van 193 nm gebruikt om resoluties tot 38 nm te bereiken. Daarvoor moet wel een trucje toegepast worden. Deze systemen maken gebruik van immersieprinting, waarbij er zich tussen de lens en de wafer een laagje water bevindt. Door de brekingsindex van het water te benutten, kan een nog fijner patroon geprint worden. Ook dit brengt technische uitdagingen met zich mee. Een luchtkussen zorgt ervoor dat het water zich niet over heel de wafer verplaatst, maar zich enkel bovenop de te printen chip bevindt.

## Double patterning

De huidige technologie maakt het mogelijk om nog fijner te printen. Double patterning bijvoorbeeld, is een techniek waarbij de wafer voor één laag van de chip tweemaal belicht en geëtsd wordt. Doordat de tweede belichting gebeurt tussen het lijnenpatroon van de eerste belichting, kan een lagere resolutie bereikt worden dan fysiek mogelijk is met één enkele belichting. Natuurlijk verlaagt dit het aantal wafers dat de machine per uur

kan belichten. Een moderne TwinScan-machine kan per uur ongeveer 175 wafers uitspuwen, maar wanneer elke laag tweemaal belicht moet worden, daalt deze snelheid vanzelfsprekend aanzienlijk.

## EUV

Een volgende generatie systemen die nu al in een aantal testopstellingen gebruikt wordt, onder andere bij het Belgische onderzoekscentrum IMEC, kan zonder kunstgrepen in één enkele belichting lagere resoluties dan 38 nm bekomen. Hiervoor gebruikt men een andere lichtbron op basis van Extreem Ultraviolet licht, kortweg EUV. EUV heeft een golflengte van slechts 13,5 nm, waardoor de schaal van de chips verkleind kan worden tot 22 nm. EUV-licht wordt echter door zowat alle stoffen geabsorbeerd, waardoor het systeem in een vacuüm moet werken, en spiegels moeten gebruikt worden in plaats van lenzen. Deze spiegels worden tot op één atoom nauwkeurig vlak gemaakt.

## Moore

Volgens de Wet van Moore, een bekende stelling van Intel-medeoprichter Gordon Moore, verdubbelt het aantal transistors in een chip grofweg elke twee jaar. Intel, één van ASML's klanten, ziet deze wet nog wel een tijdje standhouden. Tegen 2012 ziet het bedrijf de massaproductie van 22 nm-chips op gang komen, zijn 8 nm-chips mogelijk in 2018 en zal in 2022 de overstap gemaakt worden naar een 4 nm-productieproces. Over de ontwikkelingen in materiaaltechnologie en meer geavanceerde lithografische processen die deze technologische sprongen mogelijk moeten maken, blijft het bedrijf op de vlakte. Hoe dan ook, het einde van de Wet van Moore lijkt nog niet in zicht.

- **Stap 1 en 2:** De wafers worden gezaagd uit een cilinder van zuiver silicium, en nadien gepolijst.
- **Stap 3:** Op de wafer wordt een nieuwe laag siliciumoxide (of ander materiaal) aangebracht.
- **Stap 4:** Hier bovenop komt een lichtgevoelige laag.
- **Stap 5:** De lichtgevoelige laag wordt belicht, waardoor een patroon gevormd wordt. Afhankelijk van de productiefase kan dit bijvoorbeeld een patroon transistors of verbindingpunten tussen de lagen zijn.
- **Stap 6:** De lichtgevoelige laag wordt ontwikkeld, waardoor het patroon van de chip achterblijft als een masker op de oppervlakte van de wafer.
- **Stap 7:** Afhankelijk van het soort laag dat aan de chip wordt toegevoegd, wordt de wafer in deze stap geëtsd of geïmplanteerd. Bij het etsen wordt het silicium dat niet door het masker beschermd wordt, weggeëtsd. Bij het implanteren worden de onbeschermd delen gebombardeerd met geleidende ionen om een halfgeleidermateriaal te bekomen.

- **Stap 8:** Na het etsen of implanteren worden de resten van de foto-gevoelige lak verwijderd.
- **Stap 9, 10 en 11:** De wafers worden versneden in individuele chips en verder verwerkt als bijvoorbeeld processors of geheugenchips.

