



## STRALINGSBRON VOOR CHIPMACHINES NOG NIET STERK GENOEG

# Extreme zoektocht

ASML HEEFT EEN GROOT PROBLEEM BIJ DE ONTWIKKELING VAN ZIJN NIEUWE GENERATIE CHIPMACHINES: ER IS NOG STEEDS GEEN STRALINGSBRON BESCHIKBAAR DIE MET VOLDOENDE VERMOGEN EEN GOLFLENGTE VAN 13,5 NM, IN HET EXTREEM ULTRAVIOLETTE GEBIED (EUV), KAN UITZENDEN. ONLANGS KONDIGDE ASML AAN LASERPRODUCENT CYMER TE WILLEN INLIJVEN OM DE ONTWIKKELING VAN ZO'N BRON IN EIGEN HAND TE NEMEN – SLECHT NIEUWS VOOR HET DUITSE BEDRIJF XTREME TECHNOLOGIES, DAT AL HONDERDEN MILJOENEN IN DE ONTWIKKELING HEEFT GEÏNVESTEERD.

OM STEEDS KLEINERE CHIPS TE maken wil ASML in Veldhoven, 's werelds grootste fabrikant van lithografiemachines voor de chipindustrie, in de toekomst extreem

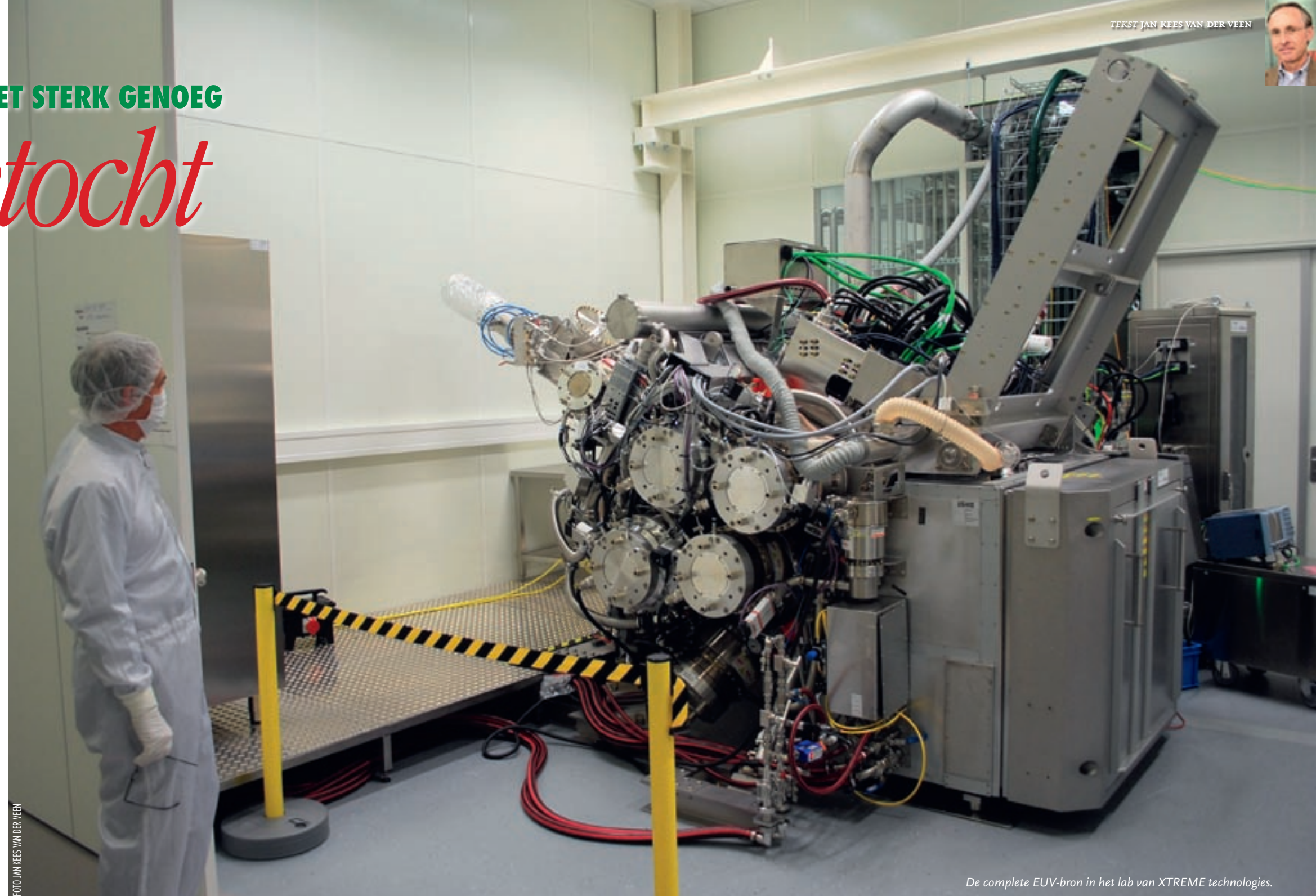
ultraviolette straling (EUV) gebruiken in plaats van diep ultraviolette (DUV). Om de golflengte van 193 naar 13,5 nm te krijgen moet

een compleet nieuwe technologie worden ontwikkeld. Dat is dankzij grote inspanningen gelukt, maar er resteert nog één groot probleem: er is nog steeds geen EUV-stralingsbron met voldoende vermogen beschikbaar. Het Amerikaanse Cymer en het Duitse

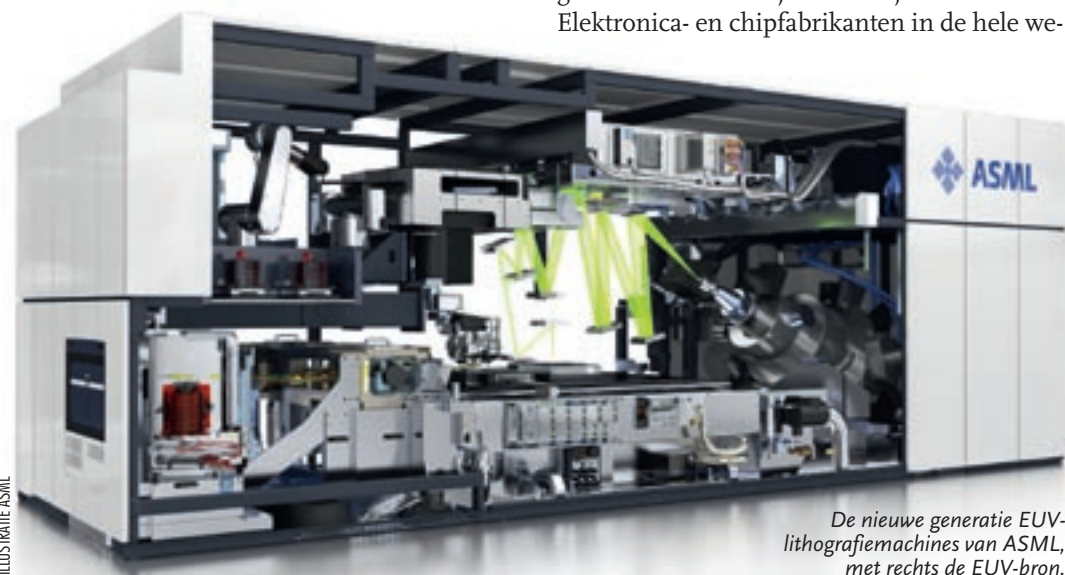
XTREME technologies zijn in de race om zo'n bron te leveren (zie kader 'Directe concurrentie'), maar liggen allebei door aanhoudende tegenslagen ver achter op schema. Onlangs kondigde ASML onverwacht aan laserproducent Cymer voor twee miljard euro te willen kopen om de ontwikkeling van de EUV-bron in eigen hand te nemen. Het ziet er naar uit dat XTREME het nakijken heeft.

Het in Aken gevestigde XTREME is er echter van overtuigd superieure technologie te hebben. 'We verleggen de grenzen stapje voor stapje', zegt dr. Jeroen Jonkers, systeemarchitect bij het bedrijf. 'We hebben het volste vertrouwen dat het ons gaat lukken een bron met voldoende vermogen te ontwikkelen en de honderden miljoenen euro's die we nu investeren terug te verdienen. Maar de risico's zijn groot en iedereen bij ons bedrijf weet dat.' Elektronica- en chipfabrikanten in de hele we-

FOTO JAN KEESE VAN DER VEEN



De complete EUV-bron in het lab van XTREME technologies.



De nieuwe generatie EUV-lithografiemachines van ASML, met rechts de EUV-bron.

reld volgen de ontwikkelingen met grote belangstelling, want met EUV-straling is het mogelijk chips met nog meer en dus nog kleinere transistors te produceren.

### UITDOVEN

De machine die ASML wil bouwen, moet chips kunnen maken waarop de lijntjes een breedte en onderlinge afstand hebben van 15 nm of lager – momenteel is dat 45 nm. De keus om het maskerpatroon – als het ware de bouwtekening van de chip – met EUV-licht te gaan projecteren op de zogeheten wafer (een lichtgevoelige laag op een dunne plak silicium), plaatst ASML, en ook andere producenten van lithografiesystemen, voor enorme

uitdagingen. De straling, ook wel zachte röntgenstraling genoemd, dooft namelijk uit in elk materiaal, ook in lucht. Om te zorgen dat de straling van de bron de wafer bereikt, moet het hele stralingspad zich in vacuüm bevinden. Lenzen, zoals toegepast bij zichtbaar of uv-licht, zijn niet meer bruikbaar, omdat EUV-straling ook niet door glas gaat. Daarom is het noodzakelijk over te schakelen op spiegeloptieken, die extreem glad moeten zijn en op zijn hoogst 70 % van de straling reflecteren. Omdat er in een lithografiemachine een tiental spiegels nodig zijn, blijft er van het door de bron uitgezonden stralingsvermogen op de wafer minder dan 1 % over. De uitdagingen en daaraan gekoppelde inves-

teringen waren zo groot dat ASML's directe concurrenten, Canon en Nikon, hun ontwikkelingen op EUV-gebied hebben stilgezet. Omdat de markt onverminderd blijft honger naar EUV – er is op termijn simpelweg geen alternatief voor massaproductie van krachtigere chips – heeft ASML, samen met Zeiss en andere partners, inmiddels miljarden geïnvesteerd in de ontwikkeling van de technologie en zijn de meeste problemen opgelost. Er is echter één grote uitzondering: de bron. Deze moet een vermogen van minstens 250 W leveren om klanten een *throughput* van 100 wafers per uur te kunnen garanderen. Bij lager vermogen zijn langere belichtingstijden nodig en daalt de *throughput*. Maar een bron

van 250 W is nog niet gedemonstreerd, zelfs niet in het laboratorium.

Onderzoek naar het opwekken van straling met een golflengte van 13,5 nm begon al twintig jaar geleden. Het principe is een geschikt materiaal, zoals lithium, xenon of tin, zo sterk te verhitten dat het overgaat in plasmavorm. Elektronen verlaten dan de atoomkernen en vliegen met hoge energie rond. Bij afkoeling vallen ze weer terug in hun normale energie-

Van de uitgezonden straling blijft op de wafer minder dan 1 % over

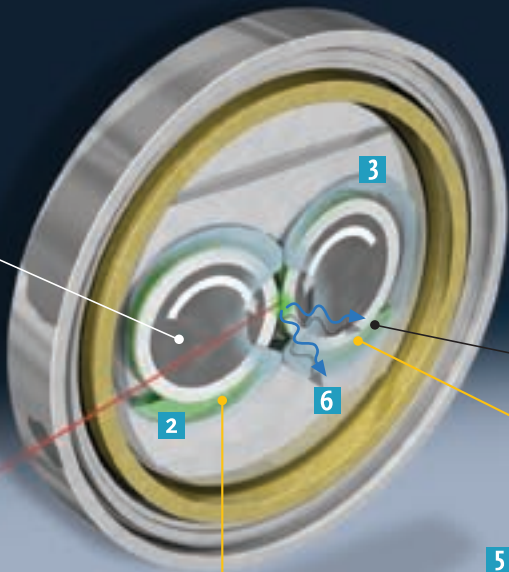
## 1 TINBAD

Twee schijven **1** draaien door baden met vloeibaar tin **2** (250°C). Hierdoor zijn ze altijd bedekt met een dun laagje tin. Om rondvliegend tin op te vangen zijn de schijven afgeschermd met afdekplaten **3**.



## 2 TINWOLK

Een laserbundel **4** raakt via twee spiegels de kopse kant van het linkerwiel. De laserwarmte zorgt dat het tin verdampt tot een wolkje tingas (1 mm<sup>3</sup>) in de spleet tussen de schijven.



## 3 PLASMAVORMING

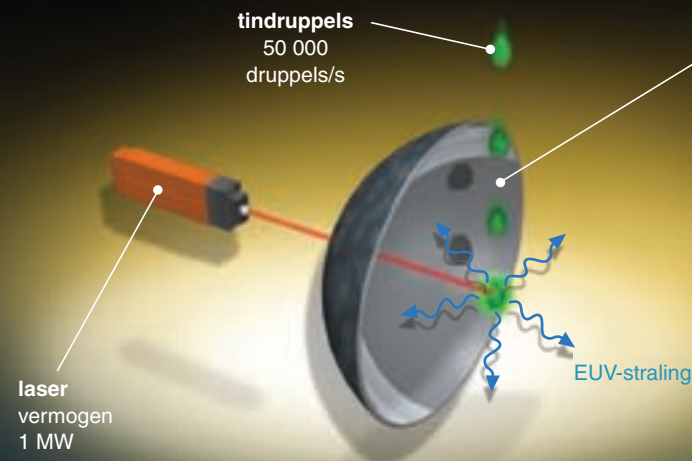
De tinbaden zijn verbonden met de polen van een condensatorbank **5**. Het tinwolkje creëert geleiding tussen de twee schijven, waardoor de condensatorbank zich ontlad. Heel kort loopt er een sterke stroom (20 000 A) door de verbinding. De temperatuur stijgt tot ruim 200 000°C en er ontstaat tinplasma.

## 4 EUV-STRALING

De hoge temperatuur exciteert de elektronen van de tinatomen tot een hoger energieniveau. Daarna vallen ze terug naar hun normale energieniveau onder uitzending van licht met een golflengte van 13,5 nm, ofwel EUV-straling **6**.

**Warmte**  
Groot probleem is het afvoeren van alle opgewekte (plasma-) warmte. Het vloeibare tinbad zorgt dat de schijven worden gekoeld. Het tin wordt rondgepompt en op zijn beurt gekoeld.

tindruppels  
50 000  
druppels/s



## CYMER: LASER VERHIT DRUPPELS

Het Amerikaanse bedrijf Cymer (leverancier van lasers in de huidige ASML-waferscanners) gebruikt een gepulste CO<sub>2</sub>-laser om tindruppels (doorsnee 20 µm) te verhitten die uit een reservoir vallen. De hoge energie van de laser zorgt dat de tindruppels overgaan in plasma. Een elliptische spiegel vangt 30 % van de

EUV-fotonen op en bundelt deze in het focuspunt. De spiegel moet om de paar weken worden vervangen wegens slijtage. De EUV-bron van Cymer levert momenteel 11 W vermogen. Dat is slechts 4,4 % van het vermogen dat ASML nodig heeft voor zijn lithografiemachines.

## 7 EUV-OPBRENGST

Vrijwel alle door de collector ingevangen EUV-straling bereikt het focuspunt (gatdiameter 10 mm). De straling gaat vanuit hier de waferscanner in.

**Ontlading**  
Per seconde vindt 10 000 keer een condensatorontlading plaats. Na 10 µs valt de geleiding door de tinwolk weg, zodat de condensator zich opnieuw kan opladen.

**Vacuümpompen**  
Rondom de EUV-stralingsbron zijn pompen geplaatst om de kamer vacuüm te houden.

**Condensatorbank**  
Omdat de condensatoren snel moeten ontladen, zijn ze dicht rondom de schijven geplaatst. Enorme hoogspanningsvoedingen staan in een aparte ruimte.

40 kW

40 W

## GEZOCHT: STERKE EUV-BRON

Om steeds kleinere chips te kunnen maken moet de golflengte van de lichtbron in een lithografiemachine steeds kleiner worden. Sinds 2003 gebruiken chipfabrikanten uv-licht met een golflengte van 193 nm. Eind jaren negentig heeft de chipindustrie besloten dat de volgende stap een golflengte van 13,5 nm zal zijn: extreem ultraviolet (EUV). De Veldhovense chipmachinefabrikant en wereldmarktleider ASML heeft ontwikkeling van die EUV-machine tot innovatiepeerpunt gemaakt. Wil de machine voldoende productiesnelheid halen, dan is een EUV-bron nodig met een vermogen van minstens 250 W. Tot op heden bestaat die niet. Twee fabrikanten, Cymer en XTREME, werken er hard aan, elk met hun eigen techniek. Cymer levert tot nu toe een bron van 11 W; XTREME heeft een prototype van 40 W.

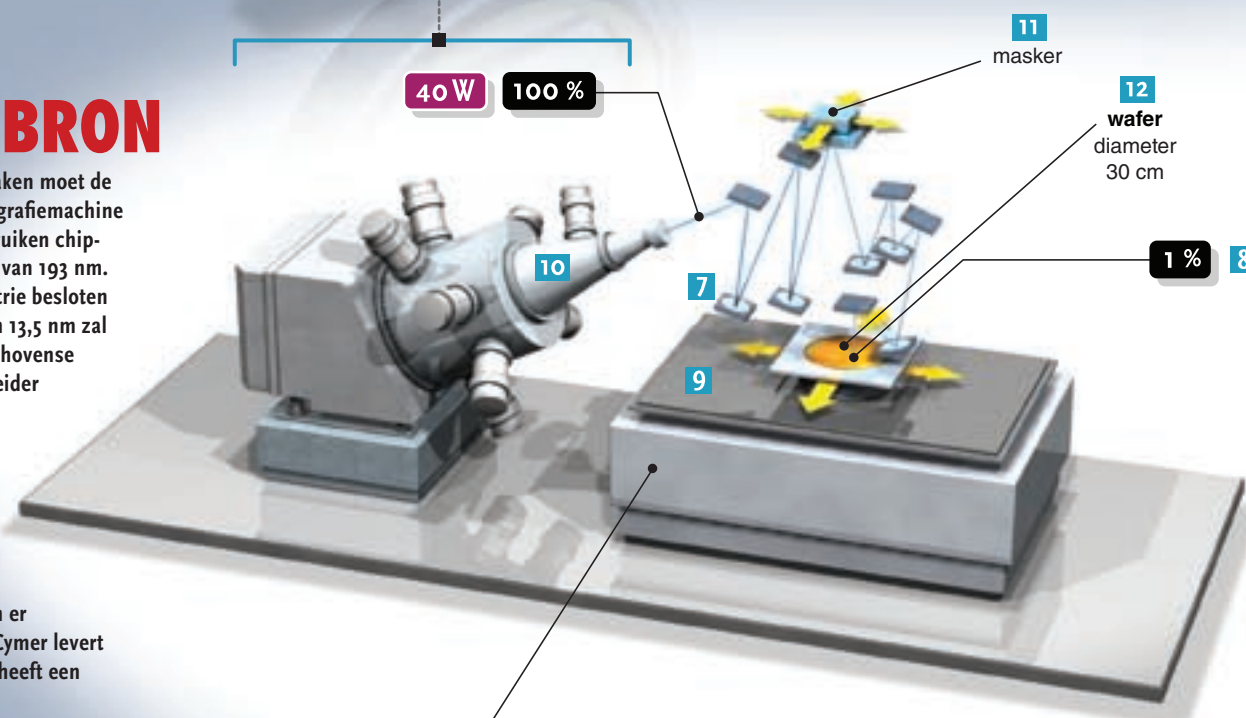
### Spiegels absorberen veel EUV-licht

EUV-licht heeft als nadeel dat het door elk materiaal wordt geabsorbeerd. Daarom heerst in de waferscanner een vacuüm en worden spiegels van siliciummolybdeen **7** gebruikt in plaats van lenzen. Dit materiaal heeft een piekreflectiviteit bij licht met een golflengte van 13,5 nm. Wel gaat bij elke spiegel 30 % van het licht verloren. Van het vermogen dat de EUV-bron levert, bereikt slechts 1 % **8** de wafer.

## WAFERSCANNER

Massafabricage van chips gebeurt in een waferscanner **9**. De EUV-bron **10** projecteert via een serie spiegels de afbeelding van een masker **11** (vier keer groter dan de chip) op een lichtgevoelige laag op een dunne plak silicium **12**, de wafer. Het masker belicht een deel van de wafer. De wafer en het masker schuiven heen en weer om alle chips op de wafer te belichten. De

wafer wordt daarna uit de machine gehaald en ontwikkeld, waarna de eerste laag van een transistorpatroon gereed is. Deze procedure wordt circa 35 keer herhaald, zodat laagje voor laagje een wafer vol met chips wordt opgebouwd. Een korte belichtingstijd is essentieel om voldoende productiesnelheid te halen. Daarom is het zo belangrijk dat de bron voldoende vermogen levert.



## 5 FOIL TRAP

Bij de vorming van het plasma worden tindeeltjes in het rond geslingerd. Om te voorkomen dat dit tin de installatie beschadigt, is op circa 10 cm van het plasma een foliewiel geplaatst. Dit wiel bestaat uit duizenden lamellen die het rondvliegende tin afvangen en afvoeren. Tussen de lamellen stroomt argongas, waarop het tin afketst. Het wiel laat EUV-straling ongehinderd door. Het foliewiel en de collector moeten jaarlijks beide worden vervangen vanwege slijtage (prijs tezamen ruim 1 miljoen euro).

## 6 COLLECTOR

De opgewekte EUV-straling gaat alle kanten uit. Het grootste deel komt in de wand van de installatie terecht. Slechts circa 10 % valt op de collector. Deze collector (doorsnede 65 cm) bestaat uit negen ringvormige holle spiegels die de invallende straling bundelen in het focuspunt. De EUV-fotonen vallen onder een zeer kleine hoek op de spiegels, zodat de reflectie bijna 100 % is en de spiegels nauwelijks beschadigen.

**Lageren in vacuüm**  
Draaiende, mechanische elementen als lagers kunnen niet zomaar worden toegepast, omdat metaalschijfers het vacuüm zouden vervuilen. XTREME heeft toch een methode ontwikkeld om bijvoorbeeld de tinwielen in vacuüm te lagere.

## XTREME

Er bestaat nog geen EUV-stralingsbron die 250 W EUV-straling levert. Dit vermogen heeft ASML nodig om honderd wafers per uur te kunnen produceren. XTREME technologies heeft wel een prototype ontwikkeld van een EUV-bron van 40 W en ziet mogelijkheden voor opschaling naar 250 W.

## RENDEMENT

Bij elke ontlading van de condensatorbank vindt een puls plaats van 4 J. Met 10 000 pulsen per seconde is het ingangsvermogen 40 kW. De elektrische pulsen genereren 400 W EUV-straling, waarvan 40 W het focuspunt van de bron verlaat: het rendement van de bron is 0,1 %. In de waferscanner bereikt een EUV-bundel van 0,4 W de wafer. Het totale rendement voor de EUV-straling van bron en scanner samen is 0,001 %.

illustratie & tekst: Eric Verdult  
[www.kennisinbeeld.nl](http://www.kennisinbeeld.nl) © 2012

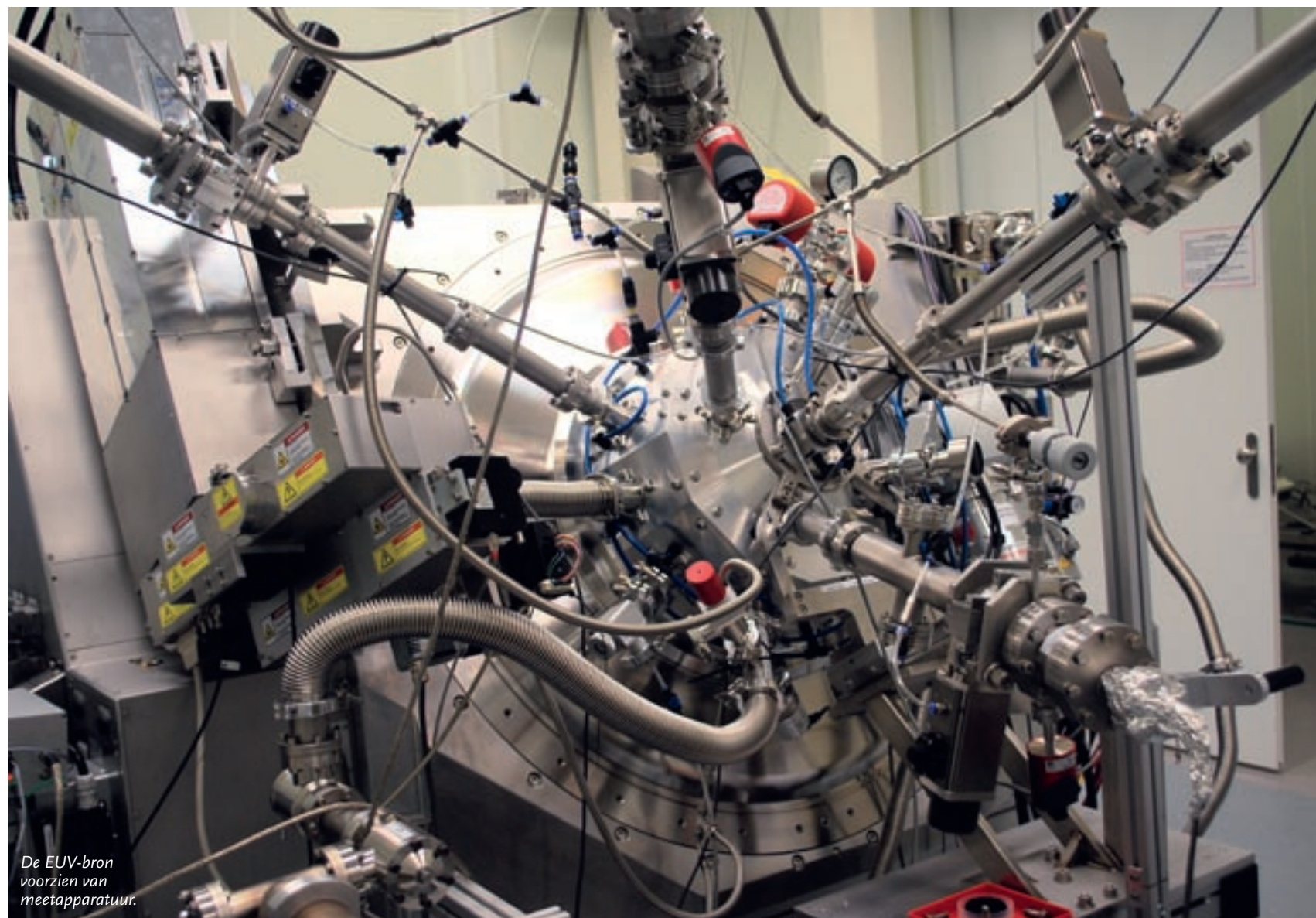
niveau, onder uitzending van de gewenste straling. Het opwekken van het plasma kan op twee manieren: door elektrische ontlading (*discharge produced plasma*, DPP) of met een krachtige laser (*laser produced plasma*, LPP). Aanvankelijk zette de industrie zijn kaarten op DPP met xenon. Een aantal bronnen werd volgens dit principe gebouwd, maar het bleek met xenon niet goed mogelijk een puntbron te benaderen, wat voor lithografie wel is vereist. Nu heeft het gebruik van tin de voorkeur.

XTREME heeft ervaring met zowel LPP als DPP, maar is in 2003 een eigen weg ingeslagen. 'Het plasma wordt bij onze bron opgewekt

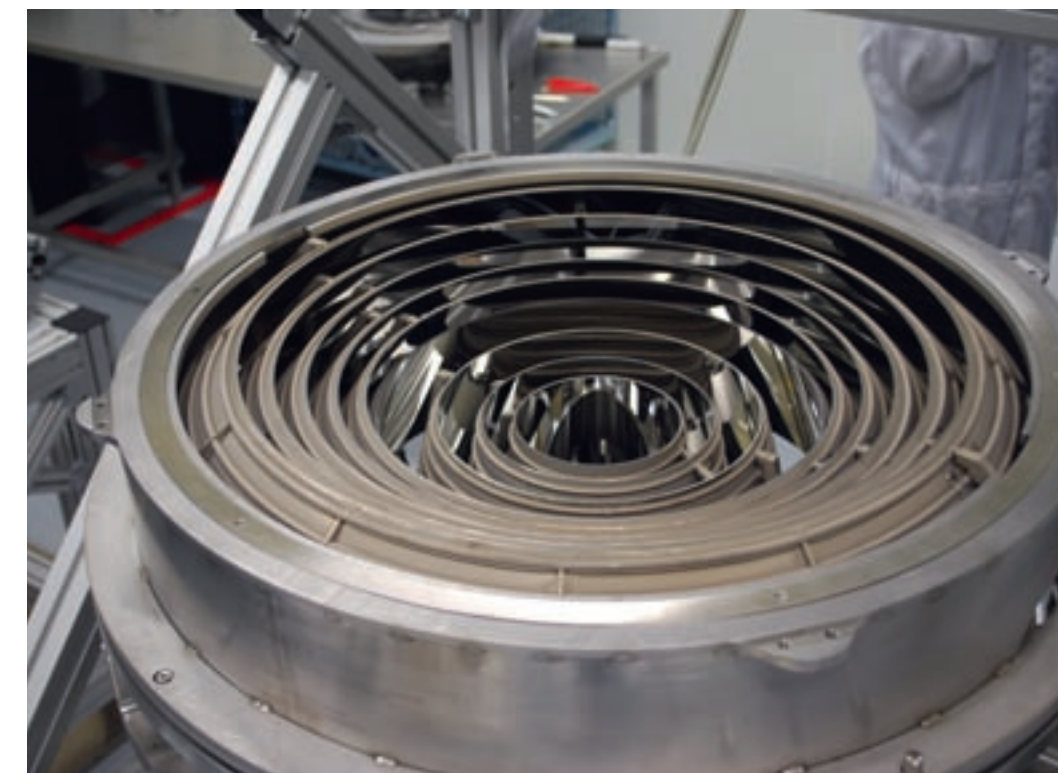
door een ontlading, die in gang wordt gezet door een kleine laser', licht systeemarchitect Jonkers toe.

**Een bron van 250 W is zelfs in het laboratorium nog niet gedemonstreerd**

'Daarom noemen we het *laser-assisted discharge plasma*, kortweg LDP. Wij denken met LDP een concept in handen te hebben dat gemakkelijker dan LPP is op te schalen naar hogere vermogens.' In 2006 leverde XTREME aan ASML LDP-bronnen van 2 W voor twee prototypen van een EUV-waferscanner. In 2007 besloot ASML echter over te stappen op LPP en een andere leverancier, het Amerikaanse Cymer, omdat die sneller voortgang leek te boeken bij het verhogen van het vermogen. Dat viel tegen, want Cymer liep tegen grote technische problemen aan. Daarom keerde ASML in 2009 bij



De EUV-bron voorzien van meetapparatuur.



De collector bestaat uit negen concentrische ringen die de EUV-straling bundelen.

## DIRECTE CONCURRENTIE

XTREME technologies heeft vier voorvaders: aan de ene kant Philips en het Duitse Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, die vanaf 2001 in een joint venture samenwerkten aan een EUV-bron, aan de andere kant een joint venture van het optische bedrijf Jenoptik en laserproducent Lambda Physik. In 2010 kwam dit alles onder de paraplu van de Japanse Ushio-groep. XTREME technologies is in 2,5 jaar gegroeid van 70 naar 250 werknemers, waarvan 150 op de R&D-afdeling in Aken werken en 100 in Alsdorf, even ten noorden van Aken, waar zich de cleanrooms bevinden en de fabricage plaatsvindt.

Directe concurrent van XTREME is het Amerikaanse Cymer, al jarenlang ASML's hofleverancier van 193 nm-lasers, dat ook een EUV-bron ontwikkelt. Half oktober kondigde ASML aan Cymer te willen overnemen voor twee miljard euro om de ontwikkeling van een EUV-bron in eigen hand te nemen. Tussen XTREME en Cymer is een wedloop aan de gang om bronnen met steeds meer vermogen te laten zien. Er is nog een derde partij, het Japanse Gigaphoton, maar dit bedrijf is pas later aangehaakt en loopt achter op de andere twee. Wordvoerder Lucas van Grinsven van ASML deelt desgevraagd mee dat ook na de inlijving van Cymer de deur voor andere leveranciers van EUV-bronnen niet gesloten is. Elk bedrijf dat op tijd een bron met voldoende vermogen kan leveren, is welkom. Zijn er meer bronnen beschikbaar, dan zijn klanten vrij in hun keuze welke bron in de machine wordt gebruikt.

XTREME terug. In 2011 leverde het Akense bedrijf bronnen van 10 W voor de tweede generatie EUV-testmachines. 'Inmiddels hebben we het vermogen van onze bron kunnen verhogen tot 50 W en zelfs tot 74 W in *bursts* van 0,2 s, en zien we mogelijkheden voor verdere opschaaling', laat Jonkers weten.

### HORDES

De vertraging bij alle leveranciers in de ontwikkeling van de EUV-bron laat zien dat de te nemen hordes zeer groot zijn. Het primaire doel is zoveel mogelijk EUV-straling te maken door zo vaak mogelijk en met zoveel mogelijk energie plasma op te wekken. De opgewekte straling gaat alle kanten uit en de volgende uitdaging is er zoveel mogelijk van op te vangen in een collector, die te bundelen en door één gaatje, de *intermediate focus*, de waferscanner in te sturen. Complicerende factor is dat behalve straling er nog veel meer uit het plasma komt. De tindeeltjes die de ruimte in worden geslingerd, moeten worden afgevangen voordat ze de collector, of erger nog de scanner

Het tinplasma wordt tussen twee draaiende schijven opgewekt.

zelf, bereiken en die verontreinigen. Misschien wel het grootste probleem is dat er ongelooflijk veel warmte wordt gegenereerd – het plasma bereikt temperaturen van 200 000 °C – die netjes moet worden afgevoerd. Ten slotte eist ASML voor een betrouwbaar belichtingsproces dat het vermogen van de bron binnen 0,2 % constant blijft – kortom, uitdagingen genoeg.

Jonkers denkt dat met LDP al deze problemen beter zijn aan te pakken dan met LPP en dat LDP meer potentie heeft om naar hogere vermogens te gaan. 'Wij kunnen daarvoor aan drie knoppen draaien. Om te beginnen kunnen we de puls-frequentie van de laser verhogen. Nu bedraagt die 5 kHz, ofwel 5000 pulsen per seconde. We hebben al geëxperimenteerd met 40 kHz en denken te kunnen gaan tot 100 kHz. Het uitgezonden stralingsvermogen gaat direct omhoog met de frequentie. Verder kunnen we meer energie op de condensatorbank zetten. Wij denken dat de huidige 4 J per puls is op te voeren tot wel 20 J. Dat zal niet eenvoudig zijn – er is veel engineering nodig om onder meer de warmteafvoer goed te regelen – maar er is geen

princiële reden waarom het niet zou kunnen. Ten derde is de efficiency van de plasma-vorming nog te verhogen door, in plaats van één, twee of meer laserpulsen direct na elkaar te geven, met een tussenpauze van enkele tientallen nanoseconden. We zijn druk bezig hiermee te experimenteren.'

Dat XTREME over een veelbelovend concept beschikt, is duidelijk. Toch heeft ASML gekozen voor Cymer. De fabrikant gokt erop dat krachtenbundeling met Cymer, als leverancier van lasers in de huidige waferscanners al vele jaren een betrouwbare industriële partner, de ontwikkeling van de EUV-bron zal versnellen. XTREME, dat een sterke research-sfeer ademt – niet vreemd gezien de wortels van het bedrijf in onder meer Philips Research – heeft nog weinig ervaring met indus-

trialisatie. Het productierijp maken van de bron vereist planmatigere, pragmatische en commerciële mensen dan onderzoekers zijn. Die mensen zijn op grote schaal binnengehaald, maar ze moeten onder extreme tijdsdruk, met de hete adem van de hele chipindustrie in de nek, hun werk doen, terwijl de research onverminderd doorgaat om het vermogen verder op te voeren. ASML durft niet voor dit onzekere pad te kiezen. Blijft de vraag hoe het verder zal gaan met XTREME: zal het bedrijf zijn deuren sluiten of zal het stug door blijven gaan en zal ASML tot de conclusie komen dat de technologie van XTREME het beste is en deze overnemen? De komende maanden zullen het leren. 'Het wordt buitengewoon spannend', beaamt Jonkers. ●

[www.xtremetec.de](http://www.xtremetec.de)