

Plasmafysica bij ASML

Als je aan plasma's denkt, denk je aan het heelal, kernfusie, maar zeker ook aan de lithografiemachines van ASML. Wat voor plasma's zitten er in die machines en met welk doel? Om daarachter te komen spreek ik met Seth Brussaard, leider van de plasmafysicagroep bij ASML, die onderzoek doet naar de optimalisatie van die plasma's.

De eerste lithografiemachines van ASML maakten gebruik van zichtbaar licht. Met behulp van dat licht, lenzen en een masker werden op een wafer structuren aangebracht. Uit die wafer werden dan weer chips gesneden. Omdat men steeds kleinere structuren wilde maken op de wafers, werd het zichtbaar licht in de machines eerst vervangen door uv-licht. Rond 2000 besloot ASML om machines te gaan maken met euv-licht. Dit betekende een geheel nieuw proces, omdat euv-licht niet kan 'overleven' in gewone lucht omdat het door vrijwel alles wordt geabsorbeerd. Hiervoor was een vacuüm nodig en moesten lenzen vervangen worden door spiegels. Inmiddels staan er al zo'n 250 euv-lithografiemachines bij klanten over de hele wereld, maar dit had heel wat voeten in de aarde. In 2007 was er de eerste demomachine en pas in 2014 werd de eerste euv-machine aan een klant verkocht. In 2018 kwam het eerste product van zo'n machine op de markt: de Samsung Galaxy Note. "Ik denk niet dat ze voorzien hadden hoeveel uitdagingen euv zou opleveren", zegt Seth Brussaard. "Maar het mooie is dat voor al die uitdagingen een oplossing is gevonden." Seth Brussaard kwam bij ASML werken in het jaar dat de eerste euv-machine werd verkocht, elf jaar geleden. Daarvoor promoveerde hij aan de TU Eindhoven op onderzoek naar plasma's die gebruikt worden om sili-

ciumlagen in zonnecellen te maken. Hij werkte vijftien jaar bij dezelfde universiteit als docent-onderzoeker in de versnellerfysicagroep waar hij onderzoek deed aan een nieuwe versnellertechniek waarbij je met een heel krachtige kortepulslaser in een plasma schiet. Voordat hij groepsleider werd, werkte hij bij ASML eerst aan een euv-lichtbron voor een metrologie-apparaat.

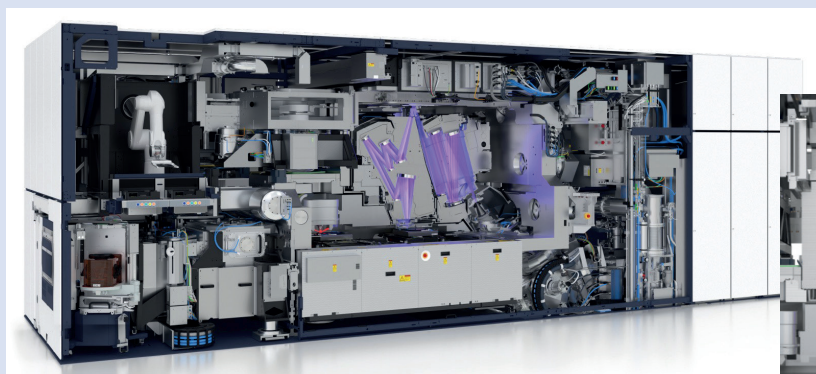
Tinplasma en waterstofplasma

Brussaard vertelt dat er verschillende manieren zijn om euv-licht met een golflengte van 13,5 nanometer te maken en dat ASML destijds gekozen heeft voor tinplasma. In het bronvat van de lithografiemachine worden kleine druppeltjes tin beschoten met een laser. De eerste keer dat zo'n tindruppeltje wordt beschoten, krijgt het de vorm van een heel dunne pannenkoek. Daarna wordt het tin meteen nog een keer beschoten en verliest het tin zijn elektronen. Er ontstaat dan een tinplasma met hoog-geïoniseerde tinionen die licht uitzenden met een golflengte van 13,5 nanometer. Spiegels zorgen er vervolgens voor dat dit licht in de optiekkamer terecht komt. De tinionen hebben ook een nadeel: ze kunnen het spiegelloppervlak beschadigen. Daarom stopt men ook waterstofgas in het bronvat, dat door het euv-licht wordt beschoten en ook een plasma wordt. Het waterstof remt de tinionen af, waardoor ze de spiegel

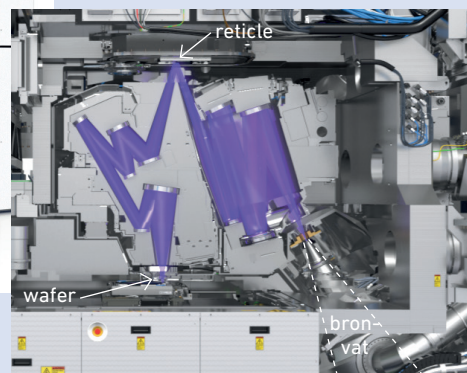
niet meer beschadigen. Bovendien reageren de zo ontstane waterstofionen met tin dat op de spiegel terecht komt en vormt het SnH_4 , dat wordt afgepompt.

Tweede waterstofplasma

In de optiekkamer zorgt het euv-licht er samen met ongeveer tien spiegels voor dat de informatie in een reticle wordt overgebracht naar de wafer. Een reticle is de blueprint van een chip en bestaat uit een glazen plaatje en is in feite ook een spiegel. Elke chip bestaat uit meerdere lagen, soms wel honderd, en daar zijn dan tientallen reticles voor nodig. In de optiekkamer is altijd wel wat organisch koolstof aanwezig in de vorm van koolwaterstoffen. Brussaard: "Dat kan komen van de mensen die de machine in elkaar hebben gezet of door het schoonmaken van de onderdelen. Ook de wafers bevatten een laag organisch materiaal, de photoresist, waar je die materialen in print. Ze doen heel erg hun best om alles zo schoon mogelijk te houden, maar er is altijd wel wat vervuiling aanwezig." Die koolwaterstoffen komen op de spiegels terecht, waardoor een bruin laagje ontstaat als ze met euv-licht worden beschoten. Daarom vult men ook de optiekkamer met een klein beetje waterstofgas, dat net als in het bronvat wordt beschoten door het euv-licht en een plasma wordt. De ontstane waterstofionen en atomen reageren direct met de koolstofatomen op het



Lithografiemachine van ASML met in het paars de plasma's. Rechts een uitsnede van het gedeelte met de plasma's.



spiegeloppervlak tot CH_4 dat wordt afgepompt. “Op deze manier blijven de spiegels blinkend schoon.” De lithografiemachines bevatten dus twee types plasma: het tinplasma om euv-licht te maken en waterstofplasma dat in het bronzvat reageert met tinionen en in de optiekkamer met koolstofatomen om te zorgen dat de spiegels niet beschadigen en/of vies worden.

Onderzoek

“De uitdaging voor ons als onderzoekers is om die plasma's zo onder controle te houden dat we voldoende euv-licht maken, dat de spiegels niet beschadigen en dat we voor alle materialen in de machine een levensduur van minimaal zeven jaar kunnen garanderen”, aldus Brussaard. Het doel is om de machines steeds efficiënter te maken en daardoor kosten te besparen. “Hiervoor moeten we de plasma's begrijpen en de processen versterken die voor euv-licht zorgen en de processen die voor verlies of schade zorgen minimaliseren.”

De groep van Brussaard doet ook onderzoek naar stofdeeltjes in de lithografiemachines. Als stofdeeltjes groter dan veertig nanometer op de reticle of de wafer komen, krijg je een misprint. Dat wil je absoluut niet, want dan werken de chips niet. Het lijkt erop dat die stofdeeltjes negatief geladen worden door de elektronen die ontsnappen uit het plasma, dat weer positief geladen is. “Om te voorkomen dat deze stof-

deeltjes in het plasma terechtkomen of om ervoor te zorgen dat, als ze in het plasma komen, ze niet naar de reticle of de wafer gaan, moeten we ook heel precies begrijpen hoe we het plasma kunnen beïnvloeden.” Het liefst zouden ze voor al het plasma-onderzoek ook een lithografiemachine willen hebben, maar dat heeft wel een aantal nadelen. Ten eerste is het heel duur en moeilijk om zo'n machine continu draaiende te houden. En ten tweede zijn de processen die je wilt onderzoeken heel traag, zoals het aangroei van de koolstof, dus dan moet je lang wachten. Daarom doet het team van Brussaard het anders: ze proberen de processen te ontrafelen en kijken in het lab naar deelprocessen. “Wat is bijvoorbeeld het effect van de euv-fotonen? Wat is het effect van de koolwaterstoffen? En wat is het effect van de waterstofatomen? Als je alles uit elkaar kunt trekken, kun je alles in een model stoppen en daarmee de tijd versnellen.” Ook heeft men in het lab opstellingen waarbij de omstandigheden erg lijken op de echte lithografiemachines, waarin ze bijvoorbeeld nieuwe materialen kunnen testen. Het doel van dit alles is om in een volgende generatie machines dingen aan te passen die de machines verbeteren. Denk aan andere materialen en een andere vormgeving van de machine waardoor de gas- en plasmaströmen anders gaan lopen. De afgelopen tien jaar zijn de lithografiemachines ongeveer een factor

twintig beter geworden. “Toen ik in 2014 bij ASML ging werken produceerden we ongeveer tien tot vijftig watt aan euv-licht. Dat is nu tweehonderd tot duizend watt.” In Veldhoven werken ongeveer tweehonderd mensen bij onderzoeksafdelingen. Daarvan werkt de helft aan de lithografiemachines en de andere helft aan metrologiemachines. Die doen weer metingen aan de lithografiemachines. Van de honderd onderzoekers die aan lithografiemachines werken, zitten de meesten bij de afdeling mechatronica. Deze afdeling houdt zich bezig met trillingen en mechanische bewegingen. De plasmagroep van Brussaard bestaat uit 22 mensen. Zij werken veel samen met de mensen die onderzoek doen naar de materialen van de machines, omdat het plasma veel invloed heeft op het materiaal. Het leuke aan het onderzoek vindt Brussaard dat plasma's heel tegenintuïtief zijn. “Als je bijvoorbeeld maar één procent stikstof toevoegt aan een waterstofplasma, dan verwacht je dat er niet heel veel gebeurt, maar dat is dus niet zo, alle eigenschappen veranderen totaal. Ik heb bij onderzoek aan plasma bijna nog nooit meegemaakt dat er gebeurt wat je van tevoren denkt. Achteraf is het vaak wel goed te verklaren met modellen. Je kunt nog zo veel bedenken achter je bureau, maar je moet het echt in het lab uitproberen. Het is een dankbaar vakgebied als je experimenteel bent georiënteerd zoals ik.”