

0.35 micron lithografie met off-axis verlichting

Paul Luehrmann, Peter van Oorschot, Hans Jasper, Sunny Stalnaker
ASM-Lithography, De Run 1110, 5503 LA Veldhoven
Steve Brainard, Brett Rolfson
Micron Semiconductor, Boise, Idaho 83706-9690
Linard Karklin
Silvaco, Santa Clara, California 95054

Samenvatting

Trends in de optische microlithografie hebben er toe geleid dat 0.35 micron resolutie als de volgende kritische lijnbreedte voor de halfgeleider industrie wordt beschouwd. 64 Mbit DRAM technologie vereist dit. De huidige I-line lithografie, met een golflengte van 365 nm, heeft echter niet voldoende tolerantie om 0.35 micron resolutie te bereiken in productie. Om een grotere scherptediepte en belichtingsruimte te bereiken worden een aantal nieuwe technieken onderzocht, zoals phase shifting masks, multiple focal plane exposures, surface imaging, DUV lithografie naast off-axis verlichting.

Deze studie heeft de bijdrage van off-axis verlichting aan verbetering van de procesruimte onderzocht. Experimentele resultaten van 0.54 en 0.45 NA (numerieke apertuur) lenzen worden getoond en deze geven de voor- en nadelen van deze techniek. De meetgegevens worden verwerkt om de mogelijkheden van 0.35 micron lithografie te bepalen. Het effect van off-axis verlichting wordt bepaald voor geïsoleerde lijnen, tralies (L/S) en voor contactpunten. Tevens is het effect op sagittale en tangentiële structuren onderzocht. Om dunne film effecten te kunnen bepalen worden commercieel verkrijgbare fotolak processen gebruikt. Tussentijdse modellen worden gegeven voor nieuwe oplossingen van de beperkingen van off-axis verlichting.

1. Inleiding

Optische lithografie blijft de techniek die in

hoofdzaak voor VLSI fabricatie wordt gebruikt. Om de steeds kleiner wordende details af te kunnen beelden worden reductie wafersteppers met toenemende NA gebruikt. Als deze trend zich doorzet krijgen optische steppers de voorkeur voor lijnbreedten tot 0.35 micron. Echter toenemende NA leidt tot onacceptabele kleine proces vrijheden. Met name de scherptediepte (DOF) wordt de beperkende factor. Daarom worden technieken onderzocht die de scherptediepte niet verminderen maar toch de resolutie verbeteren.

Vereisten voor 0.35 micron lithografie kunnen worden bereikt door een combinatie van conventionele I-line of DUV optische lithografie met een aantal gespecialiseerde technieken. Deze technieken voor sub-half-micron lithografie zijn phase-shift masks (PSM) [1], off-axis verlichting [2], surface imaging [3] en multiple focal plane exposures [4, 5]. In tabel 1 worden deze technieken beschreven. De schaal voor resolutie en DOF is genormaliseerd naar die van hoge NA I-line lithografie. De toegepaste referentie voor elke genormaliseerde waarde wordt gegeven. Zoals uit tabel 1 blijkt heeft iedere techniek voor- en nadelen. De techniek die in productie zal worden gebruikt is de techniek die aantoonbaar het eenvoudigste te implementeren is en waar voor zijn geld geeft.

Met deze beide feiten in gedachte is het laatste "hot item" voor de halfgeleider-industrie off-axis verlichting voor de verbetering van de resolutie en de DOF. Off-axis verlichting houdt zowel annulaire and quadropool verlichtingstechnieken in en is toe-

Tabel 1* Samenvatting van technieken genormaliseerd voor sub-0.5 micron, conventionele, hoge NA lithografie

Techniek	Parameters			
	RESOLUTIE genorm	DOF genorm	VOORDELEN	NADELEN
conventioneel hoge NA i-line	1.0	1.0	<ul style="list-style-type: none"> - bestaande methoden kunnen gebruikt worden - nieuwe hoog contrast resist beschikbaar - bekend systeem 	<ul style="list-style-type: none"> - minder procesvrijheid voor sub-0.5 micron
phase-shift mask	1.5 ^[1]	1.0-1.5	<ul style="list-style-type: none"> - hoge resolutie zonder DUV - proces gelijk aan i-line 	<ul style="list-style-type: none"> - mask maken is moeilijk - shift optimalisatie is complex - circuit lay-out is gelimiteerd
off-axis	1.2 ^[2]	1.4 ^[2] (0.35 micron)	<ul style="list-style-type: none"> - eenvoudig toe te passen - toename procesvrijheden - ook voor DUV bruikbaar 	<ul style="list-style-type: none"> - effectief voor alle configuraties, m.u.v. geïsoleerde lijnen - rand deformatie bij L/S groep - langere belichtingen
Surface Imaging/ Desire	1.3 ^[3]	1.3 ^[3]	<ul style="list-style-type: none"> - toename procesvrijheden - onafhankelijk van substraat - ook voor DUV bruikbaar 	<ul style="list-style-type: none"> - proces verandering noodzakelijk - langere belichtingen - interacties tussen belichting, silylation en etching
multiple focal plane belichtingen	1.0	4.0 ^[4]	<ul style="list-style-type: none"> - werkt goed bij contact elementen - eenvoudig toe te passen 	<ul style="list-style-type: none"> - voordeel alleen voor contact elementen - dosis toename van 45% [5] - langere belichtingen
DUV	1.2	1.2	<ul style="list-style-type: none"> - single layer resist 	<ul style="list-style-type: none"> - nieuwe resist techniek - hogere kosten

pasbaar voor zowel i-line als DUV lithografie. Omdat de hoge contrast i-line fotolaken uitontwikkeld zijn worden de mogelijkheden voor off-axis verlichting voor lijnbreedten tot 0.35 micron onderzocht voor i-line.

2. Theorie van de verlichtingstechnieken

Het drie-dimensionale lichtbeeld van een lithografisch projectiesysteem wordt beïnvloed door de verlichtingsmethode. In klassieke projectiesystemen bestaat de verlichting uit een enkelvoudige lichtbron. Bij Koehler-systemen wordt de bron afgebeeld in de intree-pupil van de projectielens. De verhouding tussen de diameter van de bron en de pupil diameter is de coherentiefactor. Een volledig gevulde intree-pupil wordt een incoherent systeem genoemd, terwijl een puntbron in de pupil coherent heet. In de praktijk zijn systemen gedeeltelijk coherent. De coherentie beïnvloedt het beeld, maar de mate waarin wordt bepaald door de vorm van het voorwerp. Het effect

van de coherentie op geïsoleerde lijnen of een contactgat zal verschillen van het effect op een lijnenparen (L/S) patroon. Recentelijk zijn alternatieve methoden voor pupil verlichting beschreven [2, 6, 7]. Verbetering van het lichtbeeld en DOF worden toegeschreven aan meervoudige verlichtingsbronnen of door annulaire bronnen. Het effect van deze bronnen is een scheef (oblique) verlichtingsprofiel in het voorwerpsvlak.

De afbeeldende kwaliteit in het beeldvlak kan worden afgeleid door analytische beschrijvingen. In dit vlak wordt de modulatie transfer functie (MTF) afgeleid van de overlap van de pupil en de eerste orde verdeling [8]. De gevolgen van defocussing zijn complexer. Een benadering wordt gegeven door A. Offner [9], zijn methode is gebaseerd op het afbeelden van L/S structuren. Het kan niet worden gebruikt voor de analyse van benaderings (proximity) effecten en de afbeeldingskwaliteit van geïsoleerde lijnen. Daarom is het noodzakelijk een meer nauwgezette theorie te ontwikke-

len. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een model ontwikkeld door J. Braat [10]. Met dit model wordt het drie-dimensionale lichtbeeld gesimuleerd op basis van de theorie van Hopkins [11]. In dit hoofdstuk wordt de invloed van de verlichting met het model van Braat bepaald. De volgende parameters worden onderzocht: coherentie waarde (σ), de positie en de grootte van de bron, de binnen en buiten diameter van annulaire bronnen

De invloed van de verlichting op het lichtbeeld wordt bepaald voor tralies, lijnparen (3 lijnen) en voor enkelvoudige lijnen. Deze analyse wordt uitgerekend voor de PAS 5500/60 lens. Deze 0.54 NA I-line lens heeft een gespecificeerde resolutie van 0.45 micron. De optimale condities voor het verbeteren van het scheidend vermogen tot 0.40 of zelfs 0.35 micron zullen worden onderzocht

2.1 Het effect van coherentie op de afbeeldingskwaliteit

Katz et al [12] toonden aan dat de DOF voor contactgaten optimaal is voor kleine coherentiewaarden (σ). Deze resultaten werden experimenteel bepaald op een I-line stepper van NA=0.48. Kort geleden is door Matsumoto et al [13] beschreven dat voor lenzen met hoge NA betere afbeeldende kwaliteit kan worden verkregen door de coherentie te vergroten. Deze resultaten werden verkregen door het afbeelden van L/S structuren. Deze twee verschillende resultaten tonen aan dat het moeilijk is om een optimale coherentie voor alle structuren aan te geven. Om de invloed van de coherentiefactor beter te begrijpen is een numerieke analyse gemaakt. Allereerst worden tralie structuren geanalyseerd.

De invloed van coherentie op de afbeeldingskwaliteit wordt onderzocht voor drie verschillende coherentiewaarden, resp. 0.3, 0.5 en 0.7. Het lichtbeeld is berekend voor verschillende resoluties. De kwaliteit van het beeld in dit hoofdstuk wordt bepaald aan de hand van het contrast. De de-

finitie van contrast wordt gegeven in formule (1).

$$\text{Contrast} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1)$$

Uit de simulaties worden contrast grafieken verkregen. Deze grafieken hangen samen met normale MTF grafieken waar de contrastcurve de transfer functie van een blokvormig object is. De MTF curve is de functie van een sinusvormig object. De defocuswaarde wordt uitgedrukt als de dimensieloze parameter K_2

$$K_2 = \frac{dZ}{2\left(\frac{\lambda}{NA^2}\right)} \quad (2)$$

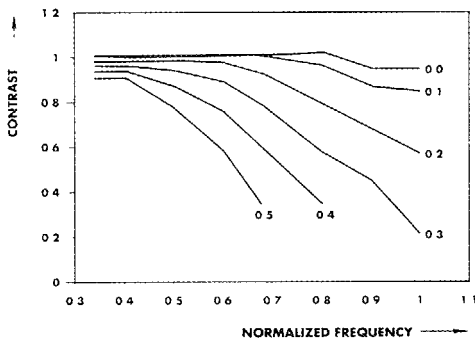
met dZ is de mate van defocussing.

Figuur 1a t/m 1c laat de resultaten zien voor drie verschillende coherentiewaarden. Het contrast is weergegeven als een functie van de frequentie. De frequentie wordt dimensieloos gemaakt door de coherentie cut-off frequentie (NA/λ) en wordt uitgedrukt in de resolutie (Res).

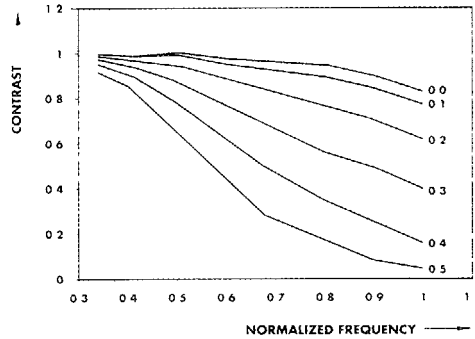
$$f = \frac{\lambda}{2Res} \quad (3)$$

De defocussingsparameter K_2 is gedefinieerd tussen 0 en 0.5. Uit deze figuren blijkt dat de optimale coherentie afhankelijk is van de resolutie. Voor een frequentie van 0.6 hebben kleine coherentiewaarden een beter contrast voor een K_2 van 0.5, terwijl voor een frequentie van 0.7 het contrast nihil is bij coherentie 0.3. De beste defocuswaarden liggen bij coherentie = 0.7.

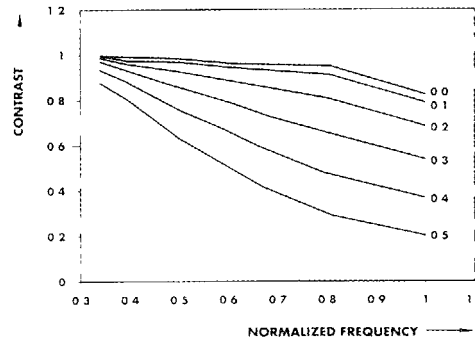
De invloed van σ op de afbeeldingskwaliteit wordt verduidelijkt door een andere doorsnede van figuur 1a t/m 1c. Bij een gegeven contrastwaarde kan de defocussingswaarde als functie van de frequentie worden gegeven.



Figuur 1a
Contrast curve voor verschillende defocus parameters K2 ($\sigma = 0.3$)



Figuur 1b
Contrast curve voor verschillende defocus parameters K2 ($\sigma = 0.5$)



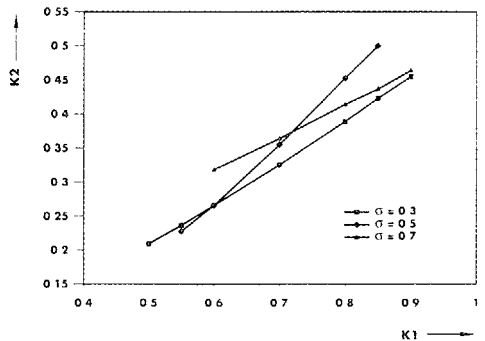
Figuur 1c
Contrast curve voor verschillende defocus parameters K2 ($\sigma = 0.7$)

Een praktische waarde voor het contrast is 60% [12]. Figuur 2 toont de maximale defocus als functie van de resolutie K1 met

$$K_1 = \frac{Res}{\lambda} = \frac{1}{2f} \quad (4)$$

In figuur 2 is af te lezen dat voor de "klasieke" $K = 0.8$ de optimale coherentie 0.5 zou moeten zijn. Voor lagere K1 waarden is een minder coherente verlichting beter. Het gevolg hiervan is dat een hogere resolutie kan worden verkregen, met gelijkblijvende NA, door de coherentie te vergroten. Hierbij moet worden opgemerkt dat de resultaten in figuur 2 worden beïnvloed door de keuze van het vereiste contrast. Maar de tendens voor betere defocuserings-eigenschappen met grotere coherentiewaarden is duidelijk. Op het invloed van coherentie op geïsoleerde lijnen en op het benaderingseffect wordt later ingegaan. De invloed van de coherentie op de scherptediepte (DOF) wordt verduidelijkt in tabel 2. In deze tabel wordt de DOF weergegeven voor 0.35 en 0.40 micron L/S structuren als functie van de NA en σ . De DOF is gebaseerd op het 60% contrast criterium.

Uit tabel 2 volgt dat een DOF verbetering van ongeveer 0.2 micron mogelijk is voor



Figuur 2
Resolutie K1 als functie van defocus K2 (contrast = 60%)

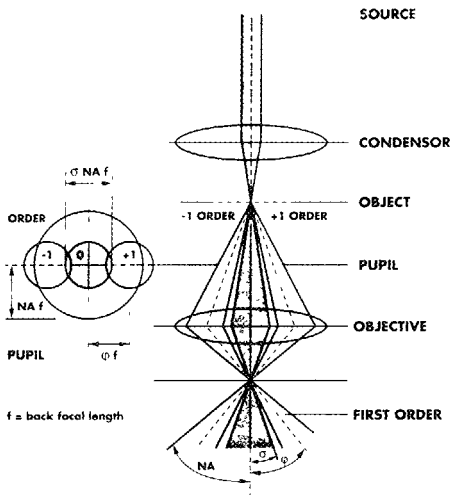
Tabel 2:
Scherpdiepte (DOF) als functie van NA en sigma gebaseerd op contrast simulaties

	NA	σ		
		0.3	0.5	0.7
0.35 μm	0.48	1.0 μm	1.0 μm	1.2 μm
	0.54	1.0 μm	1.1 μm	1.3 μm
	0.60	<0.6 μm	0.95 μm	1.2 μm
0.40 μm	0.48	1.4 μm	1.5 μm	1.8 μm
	0.54	1.3 μm	1.4 μm	1.6 μm
	0.60	1.3 μm	1.2 μm	1.4 μm

de gegeven NA waarden. Het effect van de NA op de DOF voor 0.35 micron structuren is verwaarloosbaar

2.2 Het principe van off-axis verlichting

Het principe van off-axis verlichting wordt het beste weergegeven met behulp van een tekening. Figuur 3a laat een projectiesysteem zien met conventionele verlichting. De bron met grootte σ wordt afgebeeld in het midden van de lenspupil. Een invallende bundel op het masker (= reticle) wordt afgebogen door het voor-



Figuur 3a
Conventioneel verlichtingssysteem

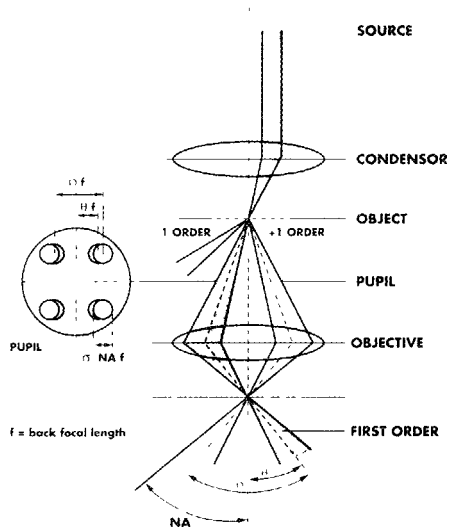
werp. Het diffractiepatroon wordt in de intreepupil gefilterd. Het beeld wordt opgebouwd door de interferentie van het gefilterde diffractiepatroon. Voor een tralieachtig voorwerp met resolutie Res wordt de richting van de eerste orde gegeven door:

$$\sin(\varphi) = \frac{\lambda}{2Res} \quad (5)$$

Het contrast van het beeld wordt bepaald door de doorsnede van de eerste orde met de lenspupil. Optimaal contrast wordt verkregen als de eerste orde bundel volledig door de lenspupil gaat. Het contrast nadert nul als de eerste orde net buiten de pupil valt. De resolutie waarbij het contrast nul is heet de cut-off frequentie. Deze resolutie is afhankelijk van de NA en de σ waarde. Uit figuur 3a volgt dat de resolutie voor conventionele verlichtingssystemen gegeven wordt door

$$Res_{\text{cut-off}} = \frac{\lambda}{2NA(1 + \sigma)} \quad (6)$$

In figuur 3b is de doorsnede van de pupil



Figuur 3b
Off-axis quadrupool verlichtingssysteem

van een off-axis quadrupool systeem getekend. Voor de eenvoud is maar een van de vier bundels weergegeven die door de lens gaat. De off-axis positie van de lichtbron resulteert in een tilthoek θ na de projectielens (op waferniveau) van de hoofdstraal. De eerste orden worden met gelijke hoek verschoven. Afhankelijk van de diffractiehoek φ en de coherentie heeft dit tot gevolg dat een van de eerste orden niet door de pupil valt zodanig dat het beeld wordt gevormd door de nulde en een van de eerste orden. In figuur 3b is ook duidelijk dat de maximale diffractiehoek vergroot wordt door de hoek θ . De cut-off frequentie voor een off-axis systeem is als volgt:

$$Res_{\text{cut-off}} = \frac{\lambda}{2NA} (1 + \sigma) + \Theta \quad (7)$$

Als de bron aan de rand van de pupil ligt (bijv. $\theta = NA(1-\sigma)$) volgt uit (7) de volgende cut-off frequentie:

$$Res_{\text{cut-off}} = \frac{\lambda}{4NA} \quad (8)$$

Vergelijking tussen formule (6) en (8) maakt de mogelijkheden voor resolutieverbetering duidelijk die met off-axis verlichtingssystemen mogelijk zijn. In vergelijking met een conventioneel systeem is de cut-off resolutie met een faktor 1.6 verbeterd. Een belangrijkere verbetering van off-axis systemen kan worden verwacht voor de scherptediepte (DOF). Bij conventionele verlichting wordt het beeld gevormd door interferentie van de nulde orde tezamen met beide eerste orden. In het focusvlak is het faseverschil tussen deze drie bundel nul. Buiten het focusvlak hebben de eerste orde bundels een faseverschil ten opzichte van de nulde orde. Het faseverschil is afhankelijk van de defocussing en de positie van de eerste orde in de pupil. Het contrast neemt af ten gevolge van het groter worden van het faseverschil. Met off-axis verlichting wordt het beeld gevormd door de nulde orde en een van de eerste orden

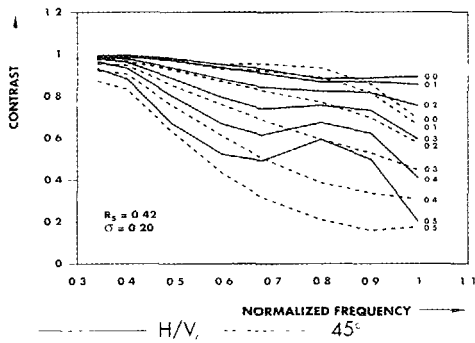
Hierbij krijgen beide bundels een faseverschil bij defocussing. Voor contrastvermindering is echter alleen het relatieve verschil tussen beide bundels van belang. Het faseverschil wordt bepaald door de radiale positie in de lenspupil. Door de off-axis verlichting is het verschil kleiner t.o.v. conventionele verlichting. In het uiterste geval hebben de nulde en de eerste orde dezelfde radiale positie en de contrastvermindering bij defocussing is minimaal. Als de coherentie $\sigma = 0$ zal de contrastvermindering nul zijn.

In praktische projectie systemen moet de intensiteitsverdeling in de lenspupil radiaal symmetrisch zijn. Afwijkingen resulteren in ongewenste niet-telecentriciteit. Met annulaire of quadrupool verlichtingssystemen wordt dit probleem opgelost.

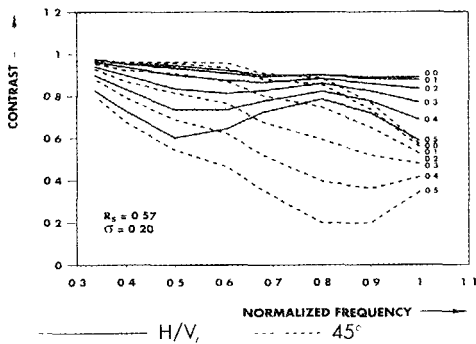
Quadrupool verlichtingssystemen

Om de invloed van quadrupool verlichting te bepalen is het luchtbeeld gesimuleerd voor verschillende quadrupool parameters. Zowel de bronhoogte (σ -s) als de bronpositie (R_s) zijn gevarieerd. De parameters σ -s en R_s worden dimensieloos gemaakt door middel van deling door de pupil-radius. In verband met de intensiteit en verlichtingsuniformiteit wordt aan grote bronnen de voorkeur gegeven. Het effect van de grootte van de bron is klein voor σ -s waarde kleiner dan 0.2, daarom wordt de invloed van de bronpositie onderzocht voor een bronhoogte van 0.2.

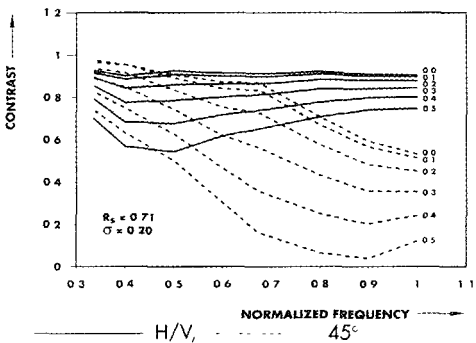
Het effect van quadrupool verlichting is verschillend voor horizontaal/vertikaal (H/V) lijnen en voor sagitaal/tangentiaal (45 graden) lijnen [14], daarom wordt de contrastfunctie voor beide lijnstructuren gesimuleerd. Figuur 4 geeft het effect van het contrast voor zowel H/V als 45 graden lijnen. Vergelijking van figuur 4 met figuur 2 voor conventionele verlichting wordt de contrastverbetering voor hogere frequenties duidelijk. Tevens wordt duidelijk dat het contrast bij lage frequenties slechter is. Dit effect wordt versterkt bij grotere waarden van de bronpositie. De simulatie met $R_s = 0.57$ lijkt een optimale configuratie te



Figuur 4a
Contrast curve voor quadrupool verlichting als functie van diverse K2 waarden



Figuur 4b
Contrast curve voor quadrupool verlichting als functie van diverse K2 waarden



Figuur 4c
Contrast curve voor quadrupool verlichting als functie van diverse K2 waarden

zijn. De slechtere kwaliteit bij lage frequenties is acceptabel en de verbetering bij hoge frequenties is goed. Bij deze configuratie wordt een minimum contrast van 60% gehandhaafd in het frequentiegebied tot en met 1 met een maximale defocusparameter $K2 = 0.5$. Bij een $NA = 0.54$ heeft dit een DOF groter dan 2.5 micron tot gevolg. De slechte afbeeldingskwaliteit voor 45 graden lijnen wordt ook duidelijk in figuur 4. In het bijzonder bij $R_s = 0.71$ is het contrast erg laag over het gehele frequentiegebied. Zelfs bij de kleinste bronpositie ($R = 0.42$) is de kwaliteit van de afbeelding klein t.o.v. conventionele verlichtingssystemen.

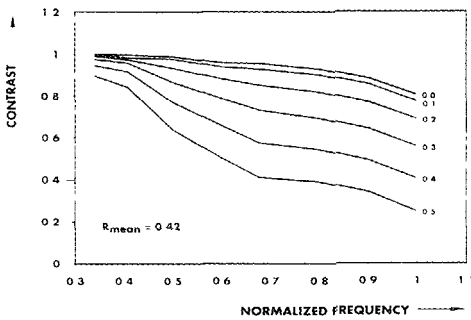
Tabel 3:

Scherptediepte (DOF) als functie van verlichtingstechniek voor 0.35 en 0.40 micron L/S gebaseerd op contrast simulaties.

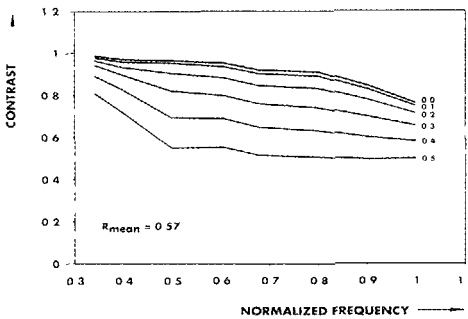
	NA	Quadrupool H/V	Quadrupool 45°	Annulair
0.35 µm	0.48	2.5 µm	-	1.9 µm
	0.54	2.5 µm	0.8 µm	1.9 µm
	0.60	2.0 µm	1.1 µm	1.6 µm
0.40 µm	0.48	3.2 µm	1.3 µm	2.4 µm
	0.54	2.5 µm	1.4 µm	2.1 µm
	0.60	2.0 µm	1.3 µm	1.7 µm

Annulaire verlichtingssystemen

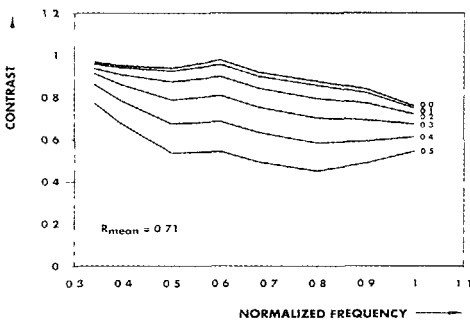
De parameters voor annulaire verlichting zijn de binnen en de buitendiameter van de bron. Net zoals voor quadrupool verlichtingssystemen speelt de brongroote een ondergeschikte rol. De afstand tussen de binnen en buitendiameter, heeft ook nauwelijks invloed op de afbeeldingskwaliteit. Het effect van annulaire verlichting is onderzocht voor diverse waarden van de gemiddelde straal (R_{mean}). $R_{mean} = (R_{in} - R_{out})$. De resultaten van de contrast simulatie worden gegeven in figuur 5. De invloed op het beeld bij lage frequenties is vergelijkbaar met quadrupool verlichting. De contrastverbetering voor de grotere frequenties is minder uitgesproken. Geba-



Figuur 5a
Contrast curve voor annulaire verlichting als functie van verschillende K2 waarden



Figuur 5b
Contrast curve voor annulaire verlichting als functie van verschillende K2 waarden



Figuur 5c
Contrast curve voor annulaire verlichting als functie van verschillende K2 waarden

seerd op dezelfde criteria als bij quadrupool verlichting geeft figuur 5b de optimale configuratie weer (bijv. de buitenradius is 0.77 en de binnenradius is 0.37 maal de pupildiameter) De maximale K2 factor voor 60% contrast is ongeveer 0.4.

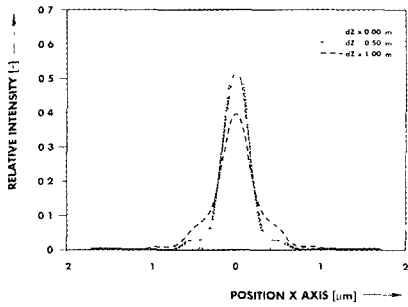
Het effect van off-axis verlichting wordt in tabel 2 gegeven voor 0.35 en 0.40 micron L/S structuren voor de drie verschillende lenstypen die ook in tabel 1 voor de conventionele verlichtingstechnieken worden gebruikt.

De quadrupoolbron geeft een grote DOF verbetering voor horizontale en verticale lijnen. Voor lijnen onder 45 graden is de DOF afhankelijk van de NA. Voor kleine NA hebben 0.35 micron lijnen geeft DOF terwijl voor de grootste NA de resultaten overeenkomen met de conventionele verlichting. De totale werking van annulaire systemen lijkt goed te zijn met een bereikte DOF groter dan 1.6 micron.

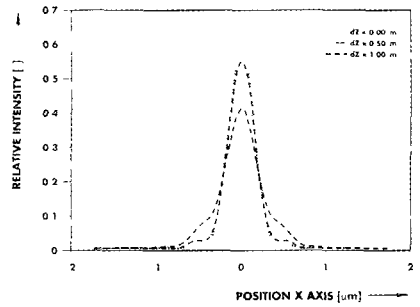
2.3 De invloed van verlichting op lijnenparen en geïsoleerde lijnen

Het luchtbeeld is gesimuleerd bij 0.35 micron resolutie voor lijnenparen en geïsoleerde lijnen. De NA van de lens varieerde tussen 0.48 en 0.54. De resultaten voor een geïsoleerde lijn met een lens met $NA = 0.54$ worden weergegeven in figuur 6a t/m 6d. De simulaties met een focus-offset van nul laten het effect van de NA op de intensiteitsverdeling zien. De hoogste intensiteit en de steilste contrast-overgangen worden bereikt bij de grootste NA waarde. Het effect van de verlichtingstechniek op de beeldkwaliteit van geïsoleerde lijnen is betrekkelijk klein. De beste resultaten worden bereikt in een systeem met een kleine coherentie, terwijl de slechtste resultaten te vinden zijn bij quadrupoolverlichting met 45 graden lijnen. Als het beeld gedefocusseerd is zal de hoogste intensiteit afnemen en de contrasthellingen minder steil worden. Het nabijheidseffect aan de rand van de lijnen wordt versterkt.

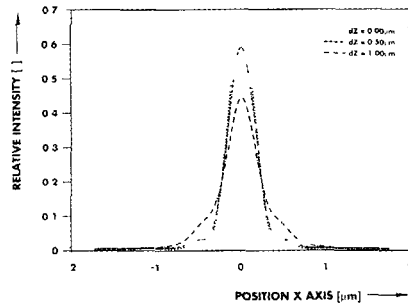
Het verschil tussen de verschillende NA waarden is klein voor een beeld met een focus-offset van 0.75 micron. Dit effect is



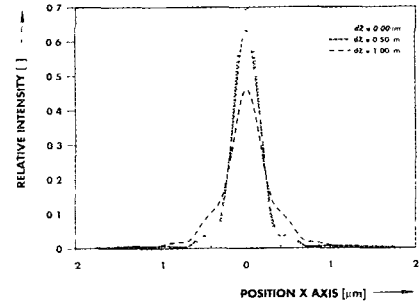
Figuur 6a
Luchtbeeld voor geïsoleerde 0.35 micron lijn met quadrupool (H/V) verlichting, $NA = 0.54$



Figuur 6c
Luchtbeeld voor geïsoleerde 0.35 micron lijn met annulaire verlichting, $NA = 0.54$



Figuur 6b
Luchtbeeld voor geïsoleerde 0.35 micron lijn met quadrupool (45 graden) verlichting, $NA = 0.54$



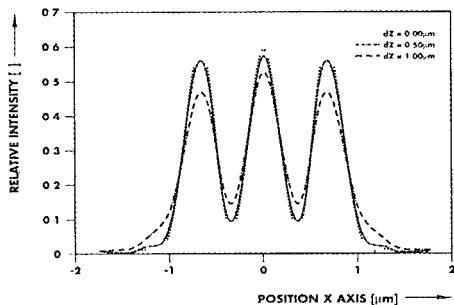
Figuur 6d
Luchtbeeld voor geïsoleerde 0.35 micron lijn met $\sigma = 0.7$, $NA = 0.54$

voor alle verlichtingstechnieken gelijk. In figuur 6 wordt het luchtbeeld gegeven bij een focus-offset van 0.0, 0.5 en 1.0 micron. In figuur 7a t/m 7d worden de resultaten weergegeven voor 3 lijnenparen. Met conventionele verlichting zijn de drie lijnen nagenoeg gelijk. Echter het contrast van het beeld met 1.0 micron defocus is slecht. Het quadrupool systeem laat een grote verbetering zien van het contrast voor H/V lijnen, zelfs bij een focus-offset van 1.0 micron. De piekintensiteit van de middelste lijn is groter dan die van de buitenste lijnen. Dit effect wordt vergroot voor grotere defocuswaarden. De kwaliteit van 45 graden lijnen is iets minder slecht vergeleken met conventionele verlichting. De variatie van de

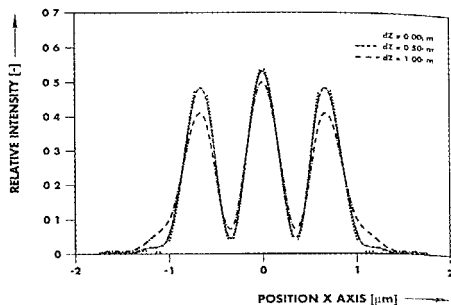
piek intensiteit ten gevolge van de lijn positie is minder sterk dan bij quadrupool techniek.

2.4 Theoretische conclusie

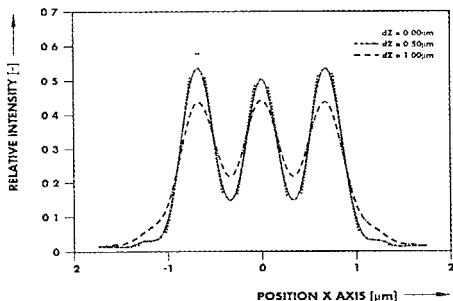
- De afbeeldingskwaliteit van L/S structuren met conventionele verlichtingstechnieken kan worden verbeterd door de coherentie te vergroten tot 0.7.
- Met quadrupool verlichting wordt het contrast voor H/V lijnen aanzienlijk verbeterd. Echter voor 45 graden structuren is het contrast enigszins slechter dan conventionele technieken.
- Met annulaire verlichting wordt het contrast voor H/V structuren sterk verbeterd zonder de 45 graden structuren nadelig te



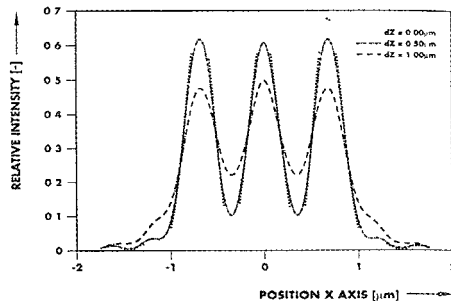
Figuur 7a
Luchtbeeld voor drie 0.35 micron lijnen met quadrupool (H/V) verlichting, NA=0.54



Figuur 7c.
Luchtbeeld voor drie 0.35 micron lijnen met annulaire verlichting, NA=0.54.



Figuur 7b
Luchtbeeld voor drie 0.35 micron lijnen met quadrupool (45 graden) verlichting, NA=0.54



Figuur 7d
Luchtbeeld voor drie 0.35 micron lijnen met $\sigma = 0.7$, NA=0.54

beïnvloeden

- Het effect van de verlichtingstechnieken op geïsoleerde lijnen is erg klein. Hetzelfde effect is zichtbaar voor NA waarden als het beeld gedefocuseerd is.

In het volgende nummer van het Nederlands Tijdschrift voor Fotonica worden de experimentele resultaten beschreven

Referentie

[1] H Ohtsuka, K. Abe, T Onodera, K. Kuwahara and T Taguchi, "Conjugate Twin-Shifter for the New Phase Shift Method to High Resolution Lithography", Proc. SPIE, Vol 1463, pp 112-123, 1991.

[2] K. Tounai, H. Tanabe, H. Nozue and K. Kasama, "Resolution Improvement with annular illumination", Proc SPIE Vol. 1674, pp 753-764, 1992

[3] M Tipton, C Garza and T Seha, "Reducing the process 'k' factor with surface imaging techniques", Proc SPIE, Vol. 1086, pp 416-423, 1989

[4] H Fukuda, N Hasegawa and S. Okazaki, "Improvement of defocus tolerance in a half-micron optical lithography by focus latitude enhancement exposure method: simulation and experiment", J. Vac Sci Technol B 7 (4), pp 667-674, 1989

[5] C.A Spense, D.C. Cole and B.B. Peck, "Using multiple focal planes to

- enhance depth of focus", Proc SPIE, Vol. 1674, 285-295, 1992
- [6] N. Shiraishi, S Kurikawa, Y Takeuchi and N. Magome, "SHRINC: A new imaging technique for 64 Mbit DRAM", *Microlithography World*, Vol. 1, No 3, pp 7-14, July/August 1992.
- [7] D.L. Fehrs, H.B Lovering and R.T. Scruton, "Illuminator modification of an optical aligner", *KTI Microelectronics Seminar, Interface '89*, pp 217-230, 1989.
- [8] J.W. Goodman, "Introduction to Fourier optics", McGraw-Hill, 1969.
- [9] A Offner, "Wavelength and coherence effects on the performance of real optical projection systems", *Photographic Science and Engineering*, Vol 23, No 6, pp 374-377, 1974.
- [10] J Braat, "Optics of recording and readout in optical disc systems", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol 28, pp 103-108, 1989.
- [11] H H Hopkins, "On the diffraction theory of optical images", *Proc. Roy. Soc A* pp 428-438, 1953.
- [12] B. Katz, J. Greenich, R Chu, P Luehrmann and D. Ritchie, "Definition of 0.5 micron contacts for advanced integrated circuit production", *KTI Microelectronics seminar, interface '91*, pp 147-176, 1990.
- [13] K. Matsumoto and T Tsurata, "Issues and method of designing lense for optical lithography", *Optical Engineering* Vol. 31, No 12, pp 2657-2664, December 1992.
- [14] Internal communication with Dr. Rainer Pforr of IMEC (Interuniversity Microelectronics Center) Leuven, Belgium.