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

Inleiding

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. In het vorige nummer van het Nederlands tijdschrift voor Fotonica is de theoretische achtergrond gegeven van verlichtingstechnieken die bij een golflengte van 365 nm (i-line) deze resolutie mogelijk maken In dit nummer worden de experimentele resultaten weergegeven

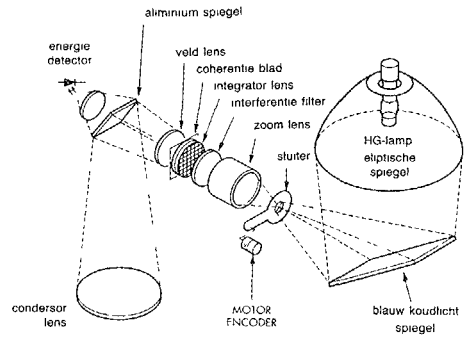
3. Experimenten

Om een vergelijking mogelijk te maken met de gesimuleerde gegevens van de off-axis verlichting, werden een aantal metingen uitgevoerd met een PAS 5000/50 en een gemodificeerde PAS 5500/60 stepper. In tabel 4 staan de belangrijkste specificaties van beide systemen samengevat

Tabel 4:
Specificaties van de i-line steppers

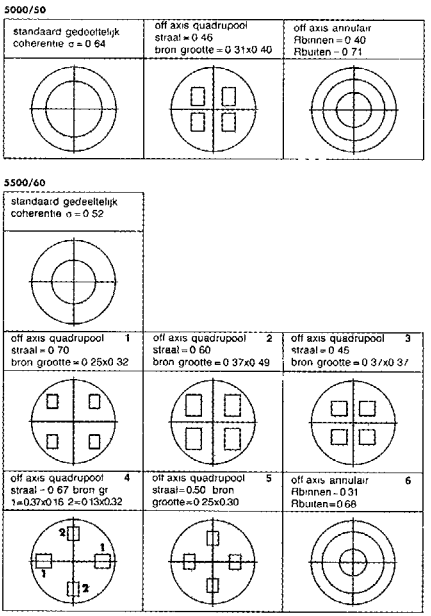
machine	resolutie [micron]	NA	coherentie bereik	standaard coherentie
5000/50	0 50	0 48	0 40-0 71	0 64
standaard 5500/60	0 45	0 54	0 30-0 52	0 52
gemodificeerde 5500/60	-	0 54	0 52-0 90	-

De algemene opzet van het verlichtingssysteem is geschetst in figuur 8. Omdat Koehler verlichting wordt gebruikt wordt de



Figuur 8
Schema van het verlichtingssysteem.

uittree zijde van de integrator afgebeeld op de intree pupil In deze experimenten worden de verschillende off-axis verlichtingstypen gerealiseerd door een deel van het licht tegen te houden door middel van een coherentie blad. In alle gevallen is de zoomlens zodanig ingesteld dat de integrator lens volledig wordt uitgelicht. De vorm van de bronnen in de intree pupil is rechthoekig omdat de vorm van de integrator-lens-elementen ook rechthoekig is De annulaire verlichting wordt benaderd door de rechthoekige elementen zo optimaal mogelijk te selecteren.
Het verlichtingssysteem van de PAS 5500/60 off-axis test opstelling is aangepast zodat een maximale coherentie van 0 90 mogelijk is. In figuur 9 worden de verschillende mogelijke vormen van de intree pupil weergegeven zoals deze tijdens de experimenten zijn gebruikt. In figuur 9 worden



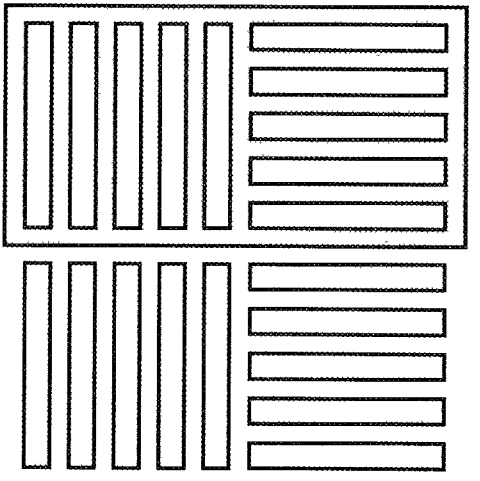
Figuur 9
Experimentele intree pupil vullingen

alle afmetingen gegeven voor de coherentie waarde σ. Het 5000/50 quadrupool blad en het 5500/60 blad 1 tot en met 3 zijn gebruikt voor de afbeelding van horizontale en vertikale strukturen. Off-axis bladen 4 en 5 zijn gebruikt om 45 graden strukturen te onderzoeken met hetzelfde masker en dezelfde evalutie methoden. Dit wordt bereikt door de bron in de intree pupil met 45 graden te roteren en alle andere variabelen constant te houden Dit maakt het mogelijk direct de resultaten te vergelijken voor horizontaal, vertikaal en 45 graden strukturen. Bij de 5000/50 werden 45 graden strukturen op het masker gebruikt. De methoden om een deel van de integrator lens te blokkeren om off-axis verlichting te realiseren heeft tot gevolg dat de intensiteit op waferniveau drastisch reduceert (zie tabel 5). Omdat ook het aantal gebruikte integrator elementen afneemt wordt het moeilijker om de uniformiteit op maskerniveau te handhaven De gemeten uniformiteiten en intensiteiten werden bereikt zon-

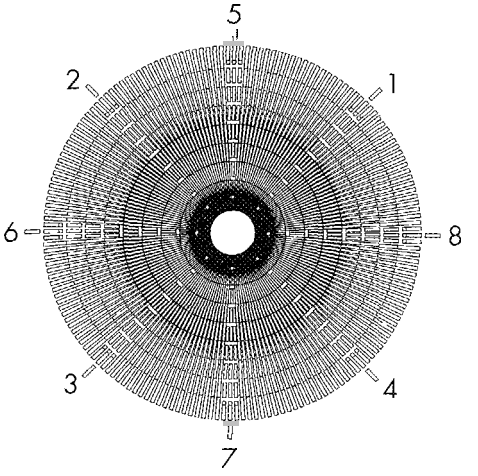
Tabel 5:
Waferniveau verlichtingsuniformiteit en intensiteit als funktie van de verschillende off-axis coherentiebladen voor de gemodificeerde 5500/60.

blad	gemeten parameters		
	uniformiteit [%]	intensiteit [mW/cm²]	
standaard	1 72	1166	100%
Quad 1	1 43	368	31%
Quad 2	1 50	149	13%
Quad 3	1 97	288	25%
Quad 4	2 02	180	15%
Quad 5	2 28	187	16%
Annulair	2 12	652	56%

der extra afregelingen en optimalisatie van het verlichtingshuis.
Zoals reeds eerder vermeld werden verschillende maskers gebruikt voor PAS 5000/50 en PAS 5500/60 experimenten. De strukturen van beide maskers waren niet geheel identiek. Bij de PAS 5000/50 testen werd gebruik gemaakt van een 7-lijnen struktuur waarbij enkele lijnen verder lopen om de geïsoleerde lijnen en lijnen paren te verkrijgen In figuur 12 zijn de



Figuur 10
Test patroon van opeengepakte strukturen



Figuur 11
Focus-ster test patroon

SEM resultaten te zien van dit masker. Uit de test opstelling experimenten bleek dat twee test patronen het meest geschikt waren. Figuur 10 laat dit testpatroon zien dat zowel een positief als een negatief patroon bevat Deze struktuur bevat vijf horizontale en vertikale lijnen Deze opzet maakt het mogelijk om ook de invloed van het nabijheids-effect te bepalen. De tweede module op het masker (zie figuur 11) wordt ook wel de focus-ster genoemd en bestaat uit sagitale lijnen die een dikte hebben van 1.0 micron aan de buitenkant en een dikte van 0 2 micron in het midden. Dit patroon is uitermate geschikt om de richtingsafhankelijkheid van de diverse verlichtingssystemen te bepalen.

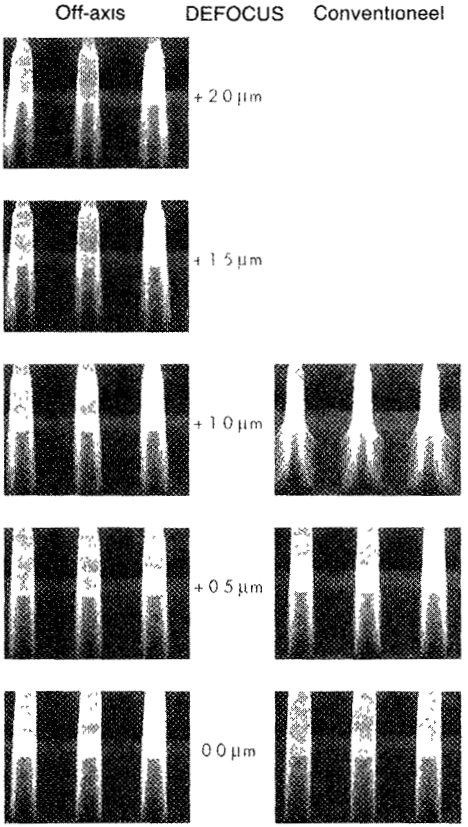
Nadat een aantal initiele testen waren uitgevoerd, werd een nieuw masker ontworpen [15] voor de PAS 5000/50. Dit masker was gemodificeerd op een manier die de defocus-effecten voor geïsoleerde en buitenlijnen verminderde. Deze modificatie kan op eenvoudige wijze bij AutoCAD technieken worden gebruikt De reden voor dit masker wordt beschreven in de volgende delen van dit onderzoek.

4. Experimentele Resultaten

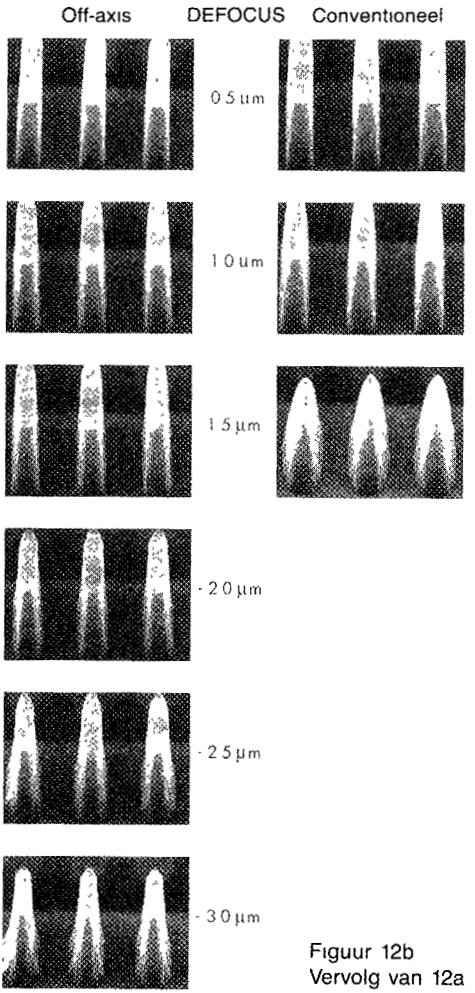
Een aantal hoge contrast positieve fotoresist processen werden gebruikt OCG 897i en Dynachem 2015 bij de PAS 5000/50 testen een OCG 895i een UCB-JSR IX-700 voor PAS 5500/60 test opstelling opnamen. Een contrastversterker (CEM) is ook getest met OCG 897i fotoresist. De scherptediepte (DOF) is gekwantificeerd als het focusgebied waarin lijnbreedten variaties optreden tot ± 10% van de nominale lijnbreedte bij optimaal focus In een grafiek van de lijnbreedte als functie van de onscherpte geeft een vlakkere curve een grotere scherptediepte aan. De minimum hoek in het resist werd vastgelegd op 85 graden.

4.1 Resultaten met 0.48 NA lens

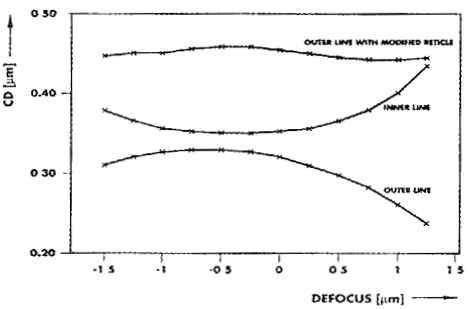
In de eerste test werd bepaald of de standaard verlichtingsbron aangepast kon worden om de mogelijkheden van off-axis verlichting bij lijnbreedten van 0.5 micron aan te tonen. Hierbij werd een quadrupool blad gebruikt en Dynachem 2015 fotoresist. Met focusstappen van 0.5 micron werden de centrale lijnen van opeengepakte strukturen afgebeeld in een focusrange van 5 micron voor quadrupool verlichting vergeleken met een 2 5 micron focusrange voor partieel coherent licht (zie figuur 12). Na deze testen werd een derde pupil vulling voor evaluatie van annulaire verlichting gebruikt. Met behulp van de drie aperturen werden enkele reeksen van opnamen gemaakt in het centrum en in een hoek van het beeld. De gemeten strukturen betreffen geisoleerde lijnen, opeengepakte H/V lijnen en opeengepakte 45 graden lijnen. De nominale masker kenmerken waren 0.36, 0.40 en 0.50 micron. SEM-opnamen werden gemaakt met een tilthoek van 65 graden voor elke focus-instelling met een belichtingsdosis dat een 1:1 CD (critical dimension = kleinste, goed af te beelden detail) bij 0.0 micron defocussering De SEM-opnamen en CD metingen tonen aan dat off-axis verlichting grote verbeteringen kan opleveren in beeldkwaliteit en scherptediepte (DOF) vergeleken met partieel coherente verlichting, echter niet in alle ge-



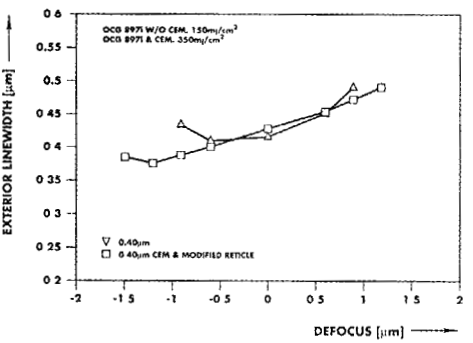
Figuur 12a
Vergelijking van scherptediepte voor off-axis en conventionele verlichting Lijnbreedte 0.5 micron, resist: Dynachem 2015, NA: 0.48



Figuur 12b
Vervolg van 12a



Figuur 13
Bossung plot (SOLID 3.1) 0.4 micron lijnen met quadrupool verlichting, $\sigma = 0.26$



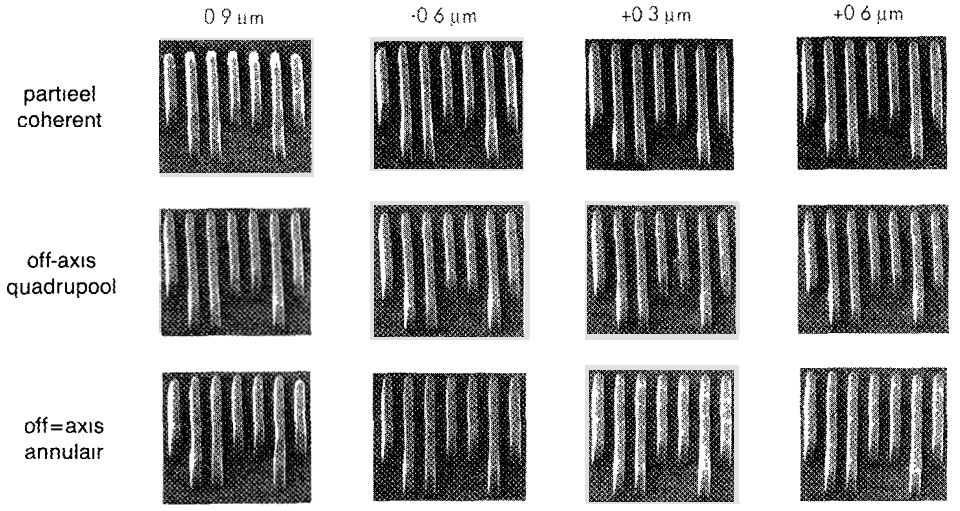
Figuur 14
Scherptediepte. off-axis annulaire verlichting

Tabel 6:
Invloed van verlichting op scherptediepte. PAS 5000/50 stepper met OCG 897i resist.

		lijn-breedte [µm]	centrum van het veld					hoek van het veld				
			partieel coherent σ = 0 64	off-axis quadru-pool	verster-kings-faktor σ = 0 64	off-axis annulair	verster-kings-faktor σ = 0 64	partieel coherent σ = 0 64	off-axis quadru-pool	verster-kings-faktor σ = 0 64	off-axis annulair	verster-kings-faktor σ = 0 64
Vert opeengepakte lijnen	binnen lijnen	0 36	0 9	2 1	133	1 5	67	0 6	2 25	275	2 1	250
		0 40	2 1	3 0	43	2 25	7	1 8	2 85	58	2 55	42
		0 50	3 0	3 0	0	3 0	0	2 85	3	5	3 0	5
	buiten lijnen	0 36	0 9	1 2	33	1 5	67	0 6	0 9	50	1 2	100
		0 40	2 1	2 85	36	2 1	0	1 8	2 25	25	1 8	0
		0 50	2 55	2 4	6	2 4	-6	2 25	2 25	13	2 25	0
45° opeengepakte lijnen	binnen lijnen	0 36	0 0	0 0	0	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0	0
		0 40	1 8	0 6	-67	1 2	-33	1 5	1 2	-20	1 8	20
		0 50	2 55	2 85	12	2 85	12	2 55	2 25	-12	2 85	12
	buiten lijnen	0 36	0 0	0 0	0	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0	0
		0 40	1 8	0 6	-67	1 2	-33	1 5	1 2	-20	1 5	0
		0 50	2 55	2 85	12	2 85	12	2 25	2 25	0	2 25	0
geisoleerd		0 36	1 5	1 5	0	1 5	0	1 5	1 95	30	1 8	20
		0 40	1 8	1 5	-17	1 5	-17	1 8	1 95	8	2 1	17
		0 50	1 8	1 8	0	1 5	-17	2 55	1 95	-24	2 1	-18

vallen Geen verbetering werd gevonden voor minimale lineaire resolutie van geisoleerde lijnen Voor de PAS 5000/50 was de resolutie 0.36 micron. Voor opeengepakte strukturen leverde de off-axis verlichting een verbeterde minimale resolutie op van 0.40 naar 0 36 micron. Elke verlichtingsmethode was in staat om 0.36 micron strukturen af te beelden in OCG 897i fotoresist met een beperkte DOF De DOF voor de buitenlijnen van een vijflijnenparen groep is aanmerkelijk slechter dan die van de binnenste lijn met off-axis verlichting Tabel 6 vat de scherptediepte resultaten samen Uit deze tabel volgt dat de grootste verbeteringen optreden voor horizontale en vertikale lijnenparen. Voor 45 graden georienteerde strukturen werd enige verbetering gezien voor 0 5 micron lijnen maar geen verbetering voor kleinere details. Off-axis verlichting heeft ook tot gevolg dat in het fotoresist de wanden van de strukturen aanzienlijk steiler zijn dan vergelijkbare opnamen met partieel coherente verlichting. Figuur 15 laat dit zien voor lijnen van 0.40 micron

Off-axis verlichting zoals gedurende de proeven werd gebruikt heeft een veel lagere intensiteit to gevolg. Echter het verschil in verlichtings-uniformiteit was nihil. Een verhoging van de output van de lamp of een verandering van de lichtbundel zodat deze alleen door de off-axis apertuur openingen gaat zal de intensiteit verbeteren. Een onderzoek naar de belichtingsvrijhe-



Figuur 15
Scherptediepte bij 0 4 micron lijnbreedte Resist OCG 897i en stepper PAS 5000/50

den geeft aan dat partieel coherent 20% winst oplevert, quadrupool 24% en annulair 16% voor 0.40 micron lijnen.
Vanwege de grote verschillen tussen buitenlijnen en binnenlijnen bij opeengepakte strukturen bij gebruik van quadrupool verlichting, werd een masker met aangepaste outrigger struktuur ontworpen. Bij een outrigger struktuur is het masker aangepast door middel van extra lijnen om de afbeelding te verbeteren, vergelijkbaar met phase shifting mask technieken. Figuur 13 is een Bosschung grafiek waarbij een simulatie wordt gegeven van de binnen, de buiten en de gemodificeerde CD weergave bij 0.4 micron Zoals te zien is wijken de CD's van binnen en buiten lijnen af bij defocussering. Maar van de gemodificeerde strukturen wordt verwacht dat betere CD waarden mogelijk zijn voor de buiten lijnen en geïsoleerde lijnen. Tegelijkertijd met de aangepaste strukturen test werd contrast verbeterend materiaal (CEM) gebruikt om verbetering aan te tonen. Een vergelijking met de eerste resultaten zonder CEM gaf geen verbetering te zien. Omdat bij gebruik van CEM de dosis aanzienlijk toeneemt (350 mJ/cm2 tegen 150 mJ/cm2) werden de CEM testen niet voortgezet. De CEM leidde tot een versnelde afname van CD met defocussering Dit werd veroorzaakt door de sub-half micron strukturen met terugvallende (retrogade) wanden, en omvallende lijnen bij defocussering. De scherptediepte werd verbeterd voor kenmerken groter dan 0 5 micron met CEM. De aangepaste struktuur, echter niet geheel optimaal, vergrootte de DOF. Een specifiek resultaat voor 0.4 micron buiten lijnen is te zien in figuur 14. De belichtingsdosis bleef gelijk ondanks een aangepast masker. De aangepaste struktuur leidde niet tot gehele verwijdering van de resist, maar met verdergaande aanpassingen lijkt het erop dat deze techniek levensvatbaar is om off-axis verlichting meer geschikt te maken voor geïsoleerde lijnen.

4.2 Resultaten met 0.54 NA lens

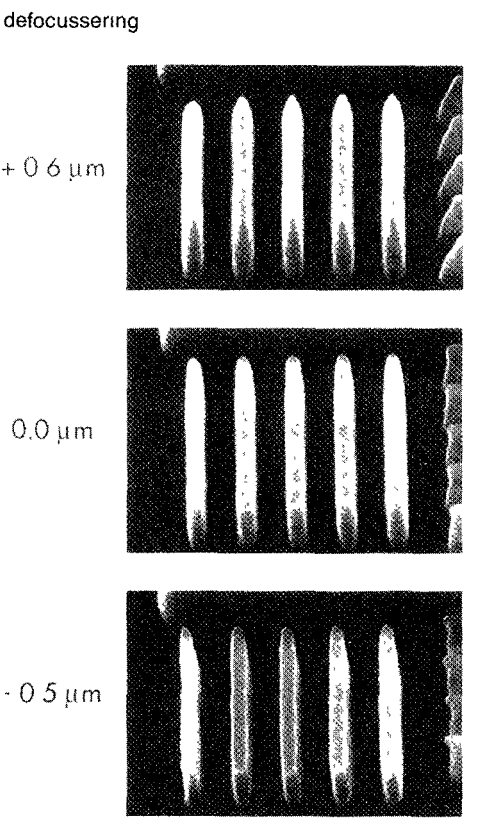
Alle testen met de 0.54 NA lens zijn uitgevoerd op het reeds eerder beschreven test opstelling. In het totaal zijn negen verschillende aperturen gebruikt (zie figuur 9) om de wafers te belichten. De gebruikte fotore-

sists zijn· OCG 895i of UCB-JSR IX-700. Alle CD metingen werden in het centrum van het beeld opgenomen. De gemiddelde detail grootte op het masker varieerde van 0 25 tot 1 0 micron, met stappen van 0.025 micron Voor de bepaling van de DOF werden 0 35 en 0.45 micron opeengepakte L/S patronen gebruikt. De centrale lijn in het patroon is de gemeten lijn. De SEM foto's zijn gemaakt met een hoek van 50 graden of groter. Een samenvatting van OCG 895i resultaten voor alle aperturen wordt gegeven in tabel 7. Om een vergelijking mogelijk te maken zijn eerder gerapporteerde resultaten [16] van een standaard PAS 5500/60 ook in tabel 7 weergegeven. Uit

Tabel 7:
Samenvatting van de werking van de gemodificeerde 0 54 NA verlichting.

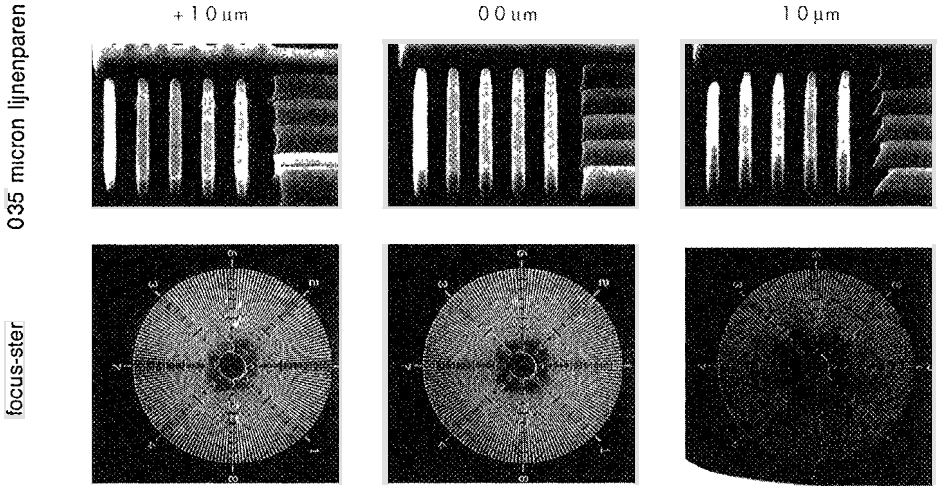
blad	DOF @ 0 45 µm	DOF @ 0 35 µm	lineariteit	belichtings-vrijheden
σ=0 9	1 6	1 0	0 35	
σ=0 7	1 7	1 1	0 35	
σ=0 5	1 4	0 8	0 35	
Quad 1	3 0	2 0	0 30	32%
Quad 2	3 0	2 0	0 28	
Quad 3	2 7	2 0	0 30	
Quad 4	1 6	1 2	0 375	19%
Quad 5	1 2	0 9	0 40	
Annulair1	2 5	1 7	0 275	>40%
standaard	1 7 [6]	1 4	0 35	21%

deze tabel volgt dat de drie verschillende, partieel coherente (σ) standen een gelijke minimale resolutie hebben maar met σ= 0.7 de grootste relatieve DOF voor 0 35 en 0.45 micron lijnen. Specifieke 0 35 micron resultaten voor een coherentie van 0.9 zijn te zien in figuur 16. Merk daarbij op dat de vijf lijnen in de struktuur gelijke defocus werking hebben Met uitzondering van de extreme defocus posities geven de partieel coherente resist opnamen geen buitengewone defocus- of nabijheidseffecten. Voor de vierkante bladen geoptimaliseerd

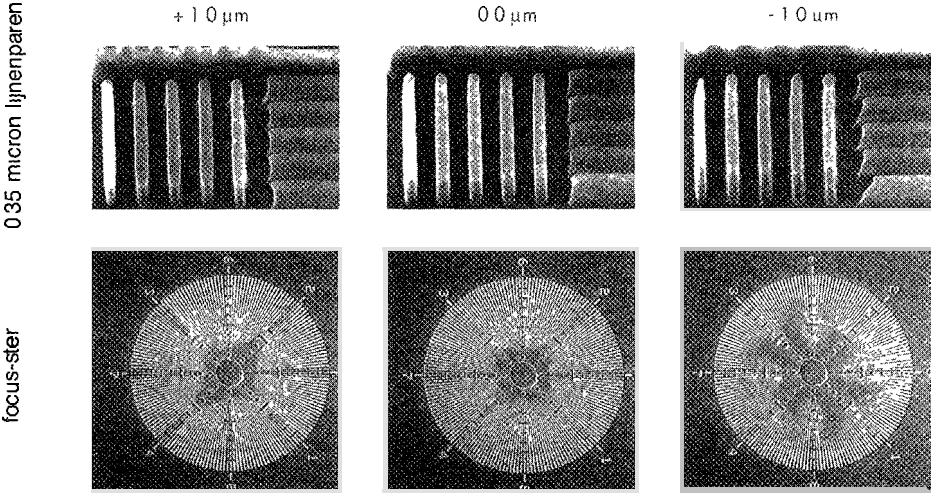


Figuur 16.
Scherptediepte voor 0 35 micron lijnbreedte met coherentie = 0 9

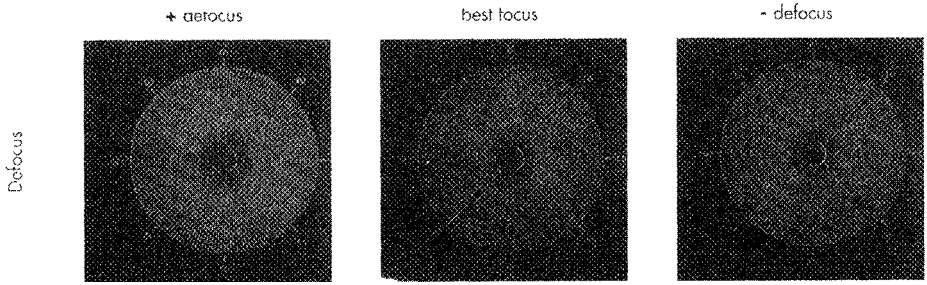
voor H/V lijnen (Quad 1 t/m 3) geven elk een resolutie tussen 0.275 en 0.30 micron. Ook het DOF resultaat is identiek. Bij 0.35 micron resolutie is de DOF 2.0 micron en bij 0 45 micron is de DOF groter dan 2 4 micron in alle drie de gevallen. Dit geeft een verbetering van 50 tot 80% t.o.v de beste partieel coherente resultaten. Hier werd tevens de focus-ster struktuur gebruikt om snel de richtingsgevoeligheid van het focus vast te stellen. Voor deze drie quadrupool bladen werd gelijk gedrag geconstateerd. Bij best focus werden richtingen, die overeen komen het H/V lijnen, gescheiden tot 0.3 micron maar niet compleet tot het midden van het patroon (0.2



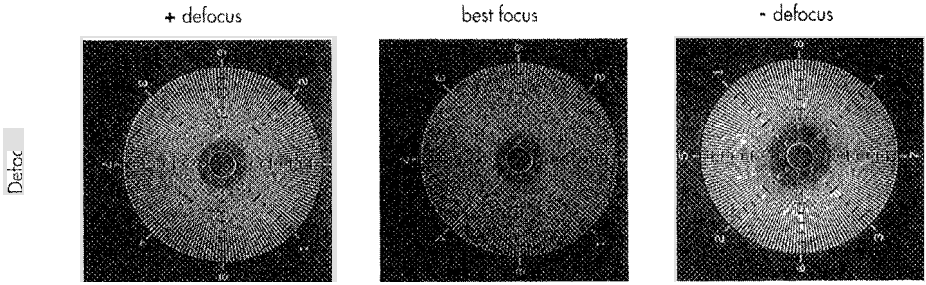
Figuur 17
Scherptediepte met gebruik van Quad 1 blad.



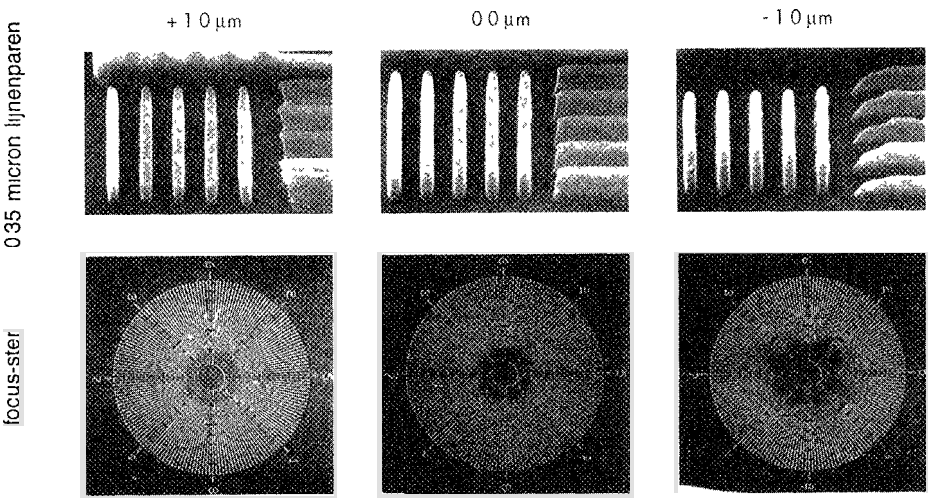
Figuur 18
Scherptediepte met gebruik van Quad 2 blad



Figuur 19
Focus-ster voor defocussering met coherentie = 0 9



Figuur 20
Focus-ster bij annulaire verlichting



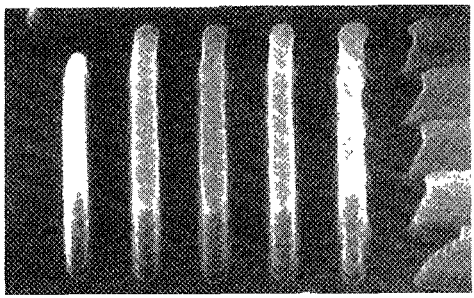
Figuur 21.
Scherptediepte met gebruik van Quad 3 blad

micron). Echter richtingen onder 45 graden (sagitaal en tangetiaal) werden niet zo goed weergegeven Het beeld in het centrum lijkt dan ook meer op een vierkant dan op de cirkel die gewoonlijk te zien is Dit niet cirkulair gedrag wordt versterkt als de scherpte afneemt. Zowel de 0.35 micron lijnen als de focus-stel afbeeldingen voor elk blad zijn te zien in figuur 17, 18 en 21 Voor de quadrupool bladen geoptimaliseerd voor 45 graden (Quad 4 en 5) en geëvalueerd bij gebruik van H/V strukturen was de bereikte resolutie slechter dan 0 35 micron. Dit is aanmerkelijk slechter dan de zelfs partieel coherente opnamen. Elk blad had ook de mogelijkheid om 0.35 micron strukturen af te beelden met een beperkte DOF. Quad 4 had een DOF resultaat gelijk aan een partieel coherentie van 0.7. Quad 5 gaf de slechtste DOF parameters van alle uitgevoerde testen.

De resultaten van een annulair gevulde pupil gaven een resoluite van 0.275 micron. Dit komt overeen met het beste resultaat van de andere gebruikte aperturen. De scherptediepte resultaten van 0 35 en 0 45 micron waren beter dan de partieel coherente testen, maar niet zo goed als een aantal van de quadrupool testen. Door gebruik te maken van de focusster wordt duidelijk dat het symmetrische gedrag gelijk is voor partieel coherente verlichting en voor annulaire verlichting (zie figuur 19 en 20) Beiden laten het karakteristieke centrale beeld zien dat duidelijk maakt dat er geen voorkeursrichting is

Speciaal voor de quadrupool gevulde pupil werden een aantal nabijheidseffecten opgemerkt. Geisoleerde lijnen laten het zelfde effect zien zoals bij 0.48 NA testen. Voor opeengepakte fotoresist lijn-spatie strukturen werden deze effecten onderverdeeld in vier typen:

1. afmeting verschillen tussen de centrale lijn en de randlijnen
2. lijnverkorting of voetvorming aan het einde van een lijn
3. ingesneden randlijnen ten gevolge van het nabijheidseffect
4. selectief scumming tussen de lijnen t g v

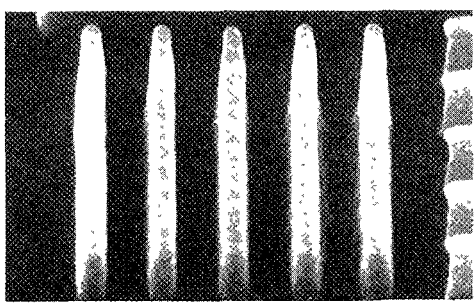


Figuur 22
Voorbeeld van nabijheidseffect (OCG 895i).

het nabijheidseffect (scumming is en residu van het resist tussen lijnenparen)

De eerste drie van deze effecten zijn te zien in figuur 22 Deze opname was gemaakt met Quad 2 pupil vulling en OCG 895i fotoresist Het eerste effect, de centrale lijn is aanzienlijk groter dan elk van de twee randlijnen. Het tweede effect kan worden waargenomen bij de randlijn aan het einde van de linkerkant van de foto. Dit treedt voornamelijk op voor lijnen aan de rand van een opeengepakte struktuur waarbij geen strukturen aan de andere kant aanwezig zijn. Het derde effect is het tegenovergesteld van het tweede effect. Het wordt voornamelijk gezien als alle strukturen in dezelfde omgeving zitten. In de voorbeeld foto zijn dit de horizontale lijnen die reflectieve insnijdingen hebben t g.v de eindlijn.

In figuur 23 wordt het laatste effect weergegeven De opeengepakte struktuur is een afbeelding bij optimaal focus en met Quad



Figuur 23
Voorbeeld van nabijheidseffect (IX-700)

3 De gebruikte fotoresist is UCS-JSR IX-700 Fotoresist scumming is selectief aanwezig tussen de twee vertikale lijnen die het dichtst bij de horizontale struktuur zitten. Dit effect wordt sterker bij defocussering Echter het lijkt erop dat dit effect ook fotoresist afhankelijk is Het IX-700 resist heeft een grotere ongebleekte en gebleekte absorbtie vergeleken met OCG 895i OCG 895i heeft een voorkeur voor insnijdingen en IX-700 neigt naar selectief scumming

5. Analyse van de resultaten

Zoals hiervoor duidelijk geworden is kan off-axis verlichting de resolutie en scherptediepte van i-line stepper verbeteren. Ook werd aangetoond dat individuele lijnen in opeengepakte strukturen met verschillende kwaliteit worden afgebeeld. Deze resultaten zullen nader onderzocht worden. Voor bepaalde resultaten wordt SOLID 3 1 van Sylvaco op optische lithografie gebruikt om de experimentele resultaten te vergelijken met dfe modellen zoals die in het vorige nummer werden gebruikt

5.1 Opeengepakte strukturen

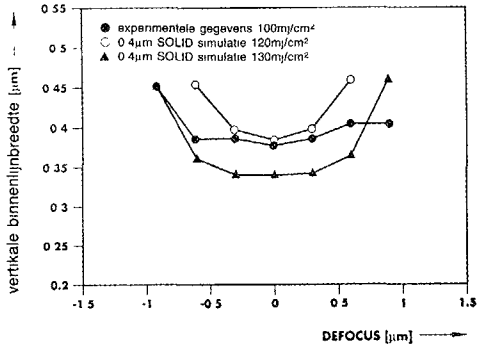
Als de opeengepakte lijnenparen, zoals weergegeven in figuur 10 en 13, worden gebruikt hebben de centrale en randlijnen vaak een verschillend gedrag Deze verschillen zijn afhankelijk van het verlichtingssysteem Aan de hand van de resultaten van de 0 48 NA lens met partieel coherente, off-axis quadrupool en off-axis annulaire verlichting. De lijnbreedte van 0.4 micron is gekozen omdat dit onder de standaard resolutie ligt van deze NA. De gemeten strukturen voor dit deel van het onderzoek lagen in het centrum van het beeldveld, de gedeeltelijk coherente afbeelding ($\sigma = 0.64$) wordt als referentie gebruikt ovoor 0 4 micron binnen- en buitenlijnen. Als toevoeging op de experimentele gegevens geven figuur 24a en 24b elk twee curven van SOLID simulatie data voor twee verschillende energien In beide gevallen ligt de experimentele curve dichter bij de simulatie data voor een energie van 120 mJ/cm2. Echter de eigenlijke trend van de curve lijkt meer op de vorm zoals die wordt gegeven door de simulatie van een enrgie van 130 mJ/cm2 Zowel binnen als buitenlijnen hebben dezelfde trend bij defocussering De buitenlijn heeft een grotere kleinste af te beelden detail over het scherptediepte bereik van 2 0 micron.

Bij off-axis quadrupool verlichting, valt meteen op dat de metingen kunnen worden uitgevoerd over een scherptediepte bereik van 3 0 micron De experimentele gegevens van figuur 25a en 25b zijn aanzienlijk beter dan de simulatie data. Bovendien volgen de experimentele gegevens de SOLID simulatie voor belichtingsdosis van 130 mJ/cm2. Hoewel voor partieel coherente verlichting de curver voor binnen- en buitenlijnen gelijke vorm hebben gaan de curven voor quadrupool verlichting in tegengestelde richting. Dit wordt bevestigd door de resultaten van SOLID Voor zeer grote defocus waarden kan dit leiden tot een CD verschil van 0.06 micron in dezelfde struktuur

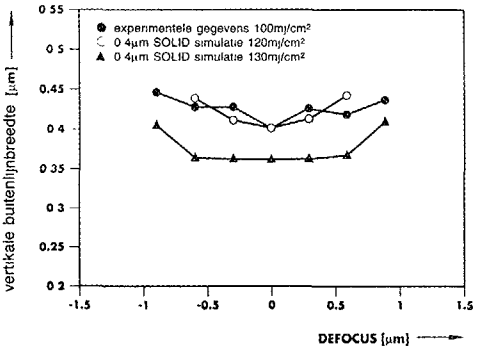
De off-axis annulaire verlichting geeft uiteindelijk de slechtste correlatie met de SOLID simulator. Uit figuur 26a en 26b volgt dat de experimentele data duidelijk boven de simulatie waarden liggen. De binnen en buitenlijnen hebben een identiek gedrag. Ze lopen niet uiteen zoals bij quadrupool systemem en het gedrag is meer symmetrisch in een groep van lijnenparen Het is bovendien van belang om te weten dat aditionele optimalisatie van de SOLID modelparameters noodzakelijk is om een betere correlatie te verkrijgen. Bijvoorbeeld kan de belichtingsdosis van de simulatie ge-optimaliseerd worden voor de verschillende diafragma's In het algemeen kan worden gesteld dat simulatie modellen, zoals SOLID, behulpzaam zijn bij het karakteriseren van effecten die het gevolg van verlichitng zijn Ze zijn erg nuttig in de optimalisatie van verlichtingssystemen voorafgaand aan fotoresist bewerkingen.

5.2 Geisoleerde lijnen

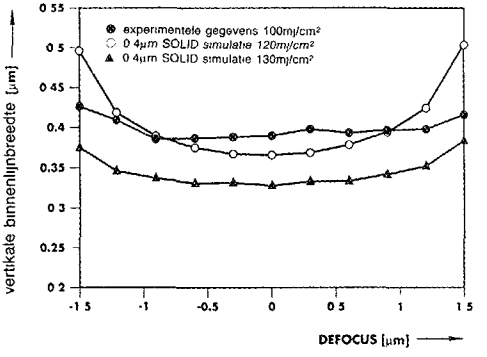
Dit onderzoek heeft al laten zien dat geiso-



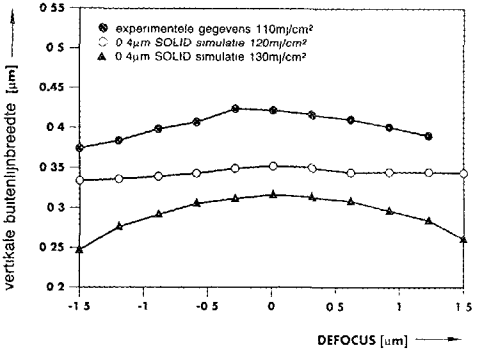
Figuur 24a.
Binnen lijnbreedte resultaten met coherentie = 0 64



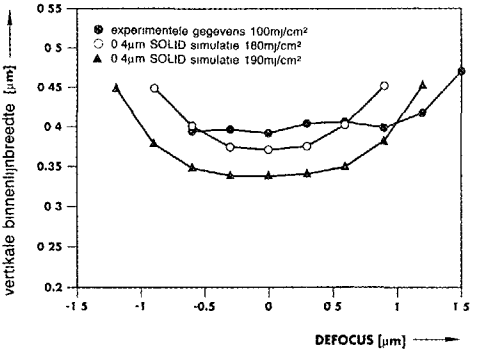
Figuur 24b
Binnen lijnbreedte resultaten met coherentie = 0 64



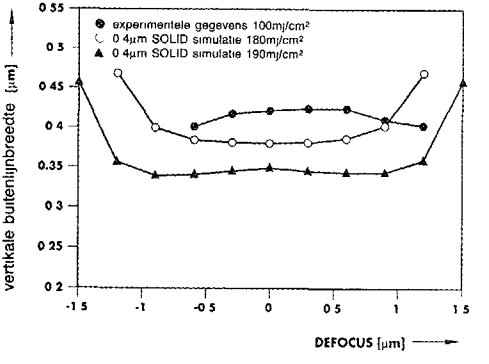
Figuur 25a
Binnen lijnbreedten bij quadrupool verlichting



Figuur 25b
Buiten lijnbreedten bij quadrupool verlichting

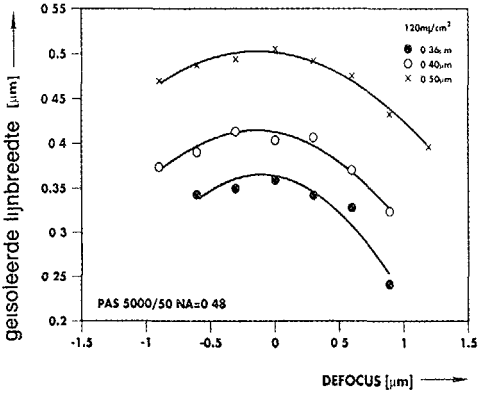


Figuur 26a
Binnen lijnbreedten bij annulaire verlichting



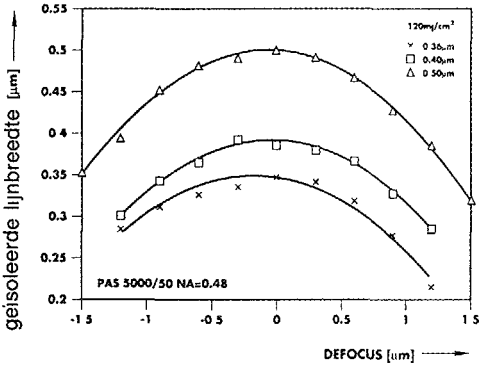
Figuur 26b
Buiten lijnbreedten bij annulaire verlichting

Scherptediepte: partieel coherente verlichting (0.64)



Figuur 27a.
Experimentele resultaten voor geisoleerde lijnen met coherentie = 0 64

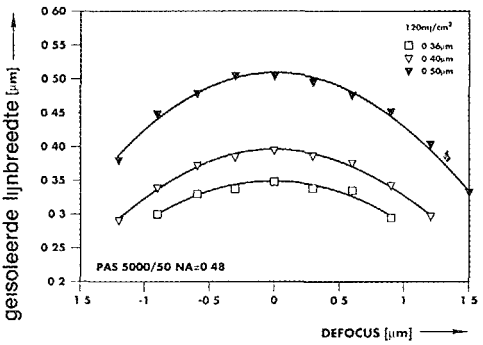
Scherptediepte: Quadrupool off-axis verlichting



Figuur 27b
Experimentele resultaten voor geisoleerde lijnen met quadrupool verlichting

leerde lijnen smaller worden bij defocussering. Bij quadrupool verlichtingssystemen is dit effect ook gezien bij buitenlijnen van opeengepakte strukturen. Figuur 27a, 27b en 27c geven de experimentele resultaten van een 0.48 NA lens voor geisoleerde lijnen van de drie verschillende belichtingssystemen. Het is nu nodig om biased en

Scherptediepte: Annulaire off-axis verlichting



Figuur 27c
Experimentele resultaten voor geisoleerde lijnen met annulaire verlichting

unbiased CD criteria te beschouwen. Biased criteria wordt bepaald door de SEM met 1;1 CD 0.0 defocus. Hieruit blijkt dat de partieel coherente verlichting een gelijke of grotere scherptediepte geeft. Het is bovendien lineair voor alle drie de lijnbreedten (0.50, 0 40 en 0.36 micron). De off-axis systemen geven een 1:1 CD voor de 0.50 micron lijn maar een belichtingsbias voor de 0.40 en 0.36 micron lijnen. De tweede mogelijkheid is het versmallen van lijnen De 0 40 en 0 36 micron lijnen geven voor beide off-axis configuraties gelijk gedrag voor de meer geleidelijke CD variaties bij defocus. Op deze wijze geeft off-axis verlichting een verbetering van de DOF vrijheid voor biased geïsoleerde lijnen. Het zal dan noodzakelijk worden om geïsoleerde lijnen te verbreden op het masker om daarmee gelijke CD waarden te krijgen in resist voor zowel opeengepakte strukturen als geïsoleerde lijnen.

6. Conclusie

De volgende conclusies gelden voor subhalf micron lithografie.

Partieel coherente verlichting

- in het algemeen geldt dat $\sigma > 0.5$ noodzakelijk is voor grote NA i-line lenzen met

K1 <0.7 voor het afbeelden van lijnenparen sigma = 0 7 was optimaal voor een 0.54 NA lens

Off-axis quadrupool verlichting
- scherptediepte en belichtingsvrijheden nemen toe voor H/V strukturen.
- DOF wordt richtingsafhankelijk en struktuurafhankelijk, in het bijzonder voor 45 graden strukturen
- Het nabijheidseffect wordt versterkt Geometrie afhankelijke effecten treden op (insnijdingen van dunne lijnen grenzend aan grotere strukturen)
- Aanpassen van strukturen op het masker verkleinen de invloed van nabijheidseffecten ten gevolgen van het verlichtingssysteem.

Referentie

[15] Reticle supported in part by DARPA-MTO Contract MDA972-92-C-0054

[16] B. Katz, et al, Evaluation of High Numerical Aperture Wide-Field Steppers for 0 35 micron Design Rules, Proc. SPIE, Vol 1674, pp 725-740, 1992