

表 1-1 2004 年 ITRS 所定義的關鍵性微影需求

Year of Production	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Technology Node		hp90			hp65		
DRAM							
DRAM λ Pitch (nm)	100	90	80	70	65	57	50
Contact in resist (nm)	130	110	100	90	80	70	60
Contact after etch (nm)	115	100	90	80	70	65	55
Overlay	35	32	28	25	23	21	19
CD control (3 sigma) (nm)	12.2	11.0	9.8	8.6	8.0	7.0	6.1
MPU							
MPU/ASCI Metal 1 (M1) λ pitch (nm)	120	107	95	85	76	67	60
MPU λ Pitch (nm) (uncontacted gate)	107	90	80	70	65	57	50
MPU gate in resist (nm)	♦ 65	53	45	40	35	32	28
MPU gate length after etch (nm)	45	37	32	28	25	22	20
Contact in resist (nm)	130	122	100	90	80	75	60
Contact after etch (nm)	120	107	95	85	76	67	60
Gate CD control (3 sigma) (nm)	♦ 4.0	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0	1.8
ASIC/LP							
ASIC λ Pitch (nm) (uncontacted gate)	107	90	80	70	65	57	50
ASIC/LP gate in resist (nm)	90	75	65	53	45	40	36
ASIC/LP gate length after etch (nm)	65	53	45	37	32	28	25
Contact in resist (nm)	130	122	100	90	80	75	60
Contact after etch (nm)	120	107	95	85	76	67	60
CD control (3 sigma) (nm)	5.8	4.7	4.0	3.3	2.9	2.5	2.2
Chip size (mm²)							
DRAM, introduction	485	383	568	419	662	449	356
DRAM, production	139	110	82	122	97	131	104
MPU, high volume at introduction	280	280	280	280	280	280	280
MPU, high volume at production	140	140	140	140	140	140	140
MPU, high performance	310	310	310	310	310	310	310
ASIC	704	704	704	704	704	704	704
Minimum field area	704	704	704	704	704	704	704
Wafer size (diameter, mm)	300	300	300	300	300	300	300

表 1-2 ITRS 所發表未來數年之微影技術藍圖

<i>Year of Production</i>	<i>2010</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>	<i>2018</i>
<i>Technology Node</i>	<i>hp45</i>		<i>hp32</i>		<i>hp22</i>	
DRAM						
<i>DRAM ½ Pitch (nm)</i>	45	35	32	25	22	18
<i>Contact in resist (nm)</i>	55	45	40	35	30	25
<i>Contact after etch (nm)</i>	50	35	30	25	21	18
<i>Overlay</i>	18	14	12.8	10	8.8	7.2
<i>CD control (3 sigma) (nm)</i>	5.5	4.3	3.9	3.1	2.7	2.2
MPU						
<i>MPU/ASCI Metal 1 (M1) ½ pitch (nm)</i>	54	42	38	30	27	21
<i>MPU ½ Pitch (nm) (uncontacted gate)</i>	45	35	32	25	22	18
<i>MPU gate in resist (nm)</i>	25	20	18	15	13	10
<i>MPU gate length after etch (nm)</i>	18	14	13	10	9	7
<i>Contact in resist (nm)</i>	59	46	42	33	30	23
<i>Contact after etch (nm)</i>	54	42	38	30	27	21
<i>CD control (3 sigma) (nm)</i>	1.6	1.3	1.2	0.9	0.8	0.6
ASIC/LP						
<i>ASIC ½ Pitch (nm) (uncontacted gate)</i>	45	35	32	25	22	16
<i>ASIC/LP gate in resist (nm)</i>	32	27	22	19	16	13
<i>ASIC/LP gate length after etch (nm)</i>	22	19	16	14	11	9
<i>Contact in resist (nm)</i>	59	46	42	33	30	23
<i>Contact after etch (nm)</i>	54	42	38	30	27	21
<i>CD control (3 sigma) (nm)</i>	2.0	1.7	1.4	1.3	1.0	0.8
Chip size (mm²)						
<i>DRAM, introduction</i>	563	353	560	351	464	292
<i>DRAM, production</i>	83	104	83	104	138	87
<i>MPU, high volume at introduction</i>	280	280	280	280	280	280
<i>MPU, high volume at production</i>	140	140	140	140	140	140
<i>MPU, high performance</i>	310	310	310	310	310	310
<i>ASIC</i>	704	704	704	704	704	704
<i>Minimum field area</i>	704	704	704	704	704	704
<i>Wafer size (diameter, mm)</i>	300	450	450	450	450	450

表 2-1 不同型式之減光型相移圖罩之優缺點

	旋佈玻璃式	蝕刻石英式	嵌附式
優點			<ol style="list-style-type: none"> 1. 單層膜兼有吸收與相移作用 2. 檢測、修補與傳統圖罩同 3. 適用任何圖案
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 旋佈玻璃化合物厚度均一性不易達成 2. 照射穩定性差 3. 厚度過厚 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 蝕刻石英側壁過厚，產生嚴重散射光 2. 蝕刻均一性難達成 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 透射率過大產生側葉強度 2. 解像度與製程寬容度改善不如強型顯著

表 2-2 一般常見之嵌附層材料

材質	微影波長 193 nm						檢測波長(nm)		化學穩定度		照射穩定度	導電性	與基材附著性
	d(nm)	ϕ	n	k	T%	R%	T%	R%	Acid	Base			
ZrSiO Bi-layer	N.A.	180	TF 2.02 AF 1.11	TF 0.108 AF 1.55	2~15	N.A.	30 $\lambda=365$	N.A.	○	×	○	N.A.	N.A.
MoSiON Bi-layer	上 40 下 63	N.A.	上 2.25 下 1.9	上 0.53 下 0.31	5.78	11.8	33.74 19.7 $\lambda=365$		○	×	○	N.A.	○
CrO/ZrO Multilayer	90	N.A.	1.71~2.38	0.75~0.46	4~15	<20	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TiSiN	86.2	N.A.	2.12	0.48	5.81	14.3	28.1 $\lambda=365$	N.A.	×	×	○	○	N.A.
TiSiON	101.6	N.A.	1.95	0.42	5.31	11.6	33.5 $\lambda=365$	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
AlSiN	95.5	N.A.	2.01	0.42	6.22	12.3	21.1 $\lambda=365$	N.A.	×	×	○	○	N.A.
SiN	72.56	176.9	2.33	0.46	9	17.09	20 21 $\lambda=574$		○	○	N.A.	×	N.A.
CrAlO	78.8	189.2	2.225	0.405	8.9	14.44	>40	N.A.	×	×	N.A.	×	N.A.
PdSiO	96	180	2.005	0.45	5.1	12.57	35.8 $\lambda=488$	N.A.	○	N.A.	○	○	N.A.

表 2-3 常見之高透射率相移圖罩嵌附層材料

	AlSixOy	Cr ₂ Al ₈ O ₁₅	Cr / CrF	MoSi + 蝕刻石英	MoSiON 同質雙層
使用光源波長	193nm	248nm	248nm	248nm	248nm
d ₁₈₀	86.2 nm	124 nm	無資料	無資料	D1: 37.1nm D2: 90.0nm
n	2.12	1.797	無資料	無資料	N1: 2.18 N2: 1.868
k	0.21	0.207	無資料	無資料	K1: 0.5879 K2: 0.3385
T	25.9 %	20 %	20%	33%	18%
R	10.8 %	無資料	無資料	無資料	無資料
T (Inspection wavelength)	67.8 % (365 nm)	<40% (248 nm)	無資料	無資料	無資料
Electric conductivity	差	差	無資料	無資料	無資料
Exposure durability	良	無資料	無資料	無資料	無資料
Clean durability	差	差	無資料	無資料	無資料
Environmental durability	良	良	無資料	無資料	無資料
Surface roughness	良	良	無資料	無資料	無資料
Adhesion	良	無資料	無資料	無資料	無資料
Etching selectivity	良	良	無資料	無資料	無資料
Etching gases	BCl ₃ : Cl ₂ = 30 : 7 BCl ₃ : Cl ₂ : O ₂ = 35 : 7 : 3.2	無資料	無資料	無資料	無資料
Resist	EP-1EG	無資料	無資料	無資料	無資料
Etching selectivity to resist	7.7 : 1	無資料	無資料	無資料	無資料
Etching selectivity to quartz	5.8 : 1	無資料	無資料	無資料	無資料

表 4-1 線上計算嵌附層材料之光學性質

		d_{180} (nm)	n	k	T%	R%
Si ₃ N ₄	193 nm	58.6	2.6630	0.2451	28.81	27.05
	248 nm	92.4	2.3648	0.3994	11.95	17.29
TiSiN	193 nm	70.7	2.3998	0.6036	4.67	19.29
	248 nm	116.6	2.0799	0.3908	8.26	12.47
MoSiN	193 nm	69.0	2.4284	0.5048	7.86	19.11
	248 nm	131.2	1.9565	0.3139	10.72	10.59

表 4-2 n&k Analyzer 量測嵌附層材料之結果

		Thickness (nm)	n	k
Si ₃ N ₄	193 nm	61.3	2.751	0.421
	248 nm	93.5	2.294	0.492
TiSiN	193 nm	71.9	2.329	0.599
	248 nm	115.2	2.121	0.394
MoSiN	193 nm	72.6	2.295	0.499
	248 nm	135.0	1.831	0.355

表 4-3 紫外光/可見光光譜儀量測之反射率與透射率

		n_2	R%	T%
Si ₃ N ₄	193 nm	1.56	22.818	10.531
	248 nm	1.514	16.467	9.772
TiSiN	193 nm	1.56	17.851	4.441
	248 nm	1.514	13.07	8.32
MoSiN	193 nm	1.56	17.324	6.425
	248 nm	1.514	9.468	8.883

表 4-4 R-T Method 計算嵌附層材料之結果

		n	k
Si ₃ N ₄	193 nm	2.690	0.380
	248 nm	2.250	0.545
TiSiN	193 nm	2.260	0.620
	248 nm	2.125	0.395
MoSiN	193 nm	2.280	0.535
	248 nm	1.860	0.335



表 4-5 以方程式修正後之材料反射率與透射率

		R%	T%	Modified R%	Modified T%
Si ₃ N ₄	193 nm	22.818	10.531	23.094	10.662
	248 nm	16.467	9.772	16.666	9.894
TiSiN	193 nm	17.851	4.441	18.213	4.533
	248 nm	13.07	8.32	13.165	8.382
MoSiN	193 nm	17.324	6.425	17.487	6.487
	248 nm	9.468	8.883	9.739	8.968

表 4-6 Modified R-T Method 計算嵌附層材料之結果

		n	k
Si ₃ N ₄	193 nm	3.025	0.465
	248 nm	2.285	0.440
TiSiN	193 nm	2.305	0.615
	248 nm	2.135	0.390
MoSiN	193 nm	2.320	0.530
	248 nm	1.845	0.365



表 4-7 變角度光譜橢圓儀量測嵌附層材料之結果

		n	k
Si ₃ N ₄	193 nm	2.929	0.499
	248 nm	2.281	0.429
TiSiN	193 nm	2.300	0.607
	248 nm	2.152	0.388
MoSiN	193 nm	2.339	0.521
	248 nm	1.843	0.371

表 4-8 其他量測方法與變角度光譜橢圓儀於 193 nm 光源之誤差：

(A) Si_3N_4 ; (B) TiSiN ; (C) MoSiN

(A)

	n		k	
n&k Analyzer	2.751	6.077%	0.421	15.631%
R-T Method	2.690	8.160%	0.380	23.848%
Modified R-T Method	3.025	3.278%	0.465	4.814%
VASE	2.929	-	0.499	-

(B)

	n		k	
n&k Analyzer	2.329	1.245%	0.599	1.318%
R-T Method	2.260	1.739%	0.620	2.142%
Modified R-T Method	2.305	0.217%	0.615	1.318%
VASE	2.300	-	0.607	-

(C)

	n		k	
n&k Analyzer	2.295	1.881%	0.499	4.223%
R-T Method	2.280	2.522%	0.535	3.866%
Modified R-T Method	2.320	0.812%	0.530	1.727%
VASE	2.339	-	0.521	-

表 4-9 其他量測方法與變角度光譜橢圓儀於 248 nm 光源之誤差：

(A) Si_3N_4 ; (B) TiSiN ; (C) MoSiN

(A)

	n		k	
n&k Analyzer	2.294	0.570%	0.492	14.685%
R-T Method	2.250	1.359%	0.545	27.040%
Modified R-T Method	2.285	0.002%	0.440	2.564%
VASE	2.281	-	0.429	-

(B)

	n		k	
n&k Analyzer	2.121	1.441%	0.394	1.546%
R-T Method	2.125	1.255%	0.395	1.804%
Modified R-T Method	2.135	0.790%	0.390	0.515%
VASE	2.152	-	0.388	-

(C)

	n		k	
n&k Analyzer	1.831	0.651%	0.355	4.313%
R-T Method	1.860	0.922%	0.335	9.704%
Modified R-T Method	1.845	0.109%	0.365	1.617%
VASE	1.843	-	0.371	-

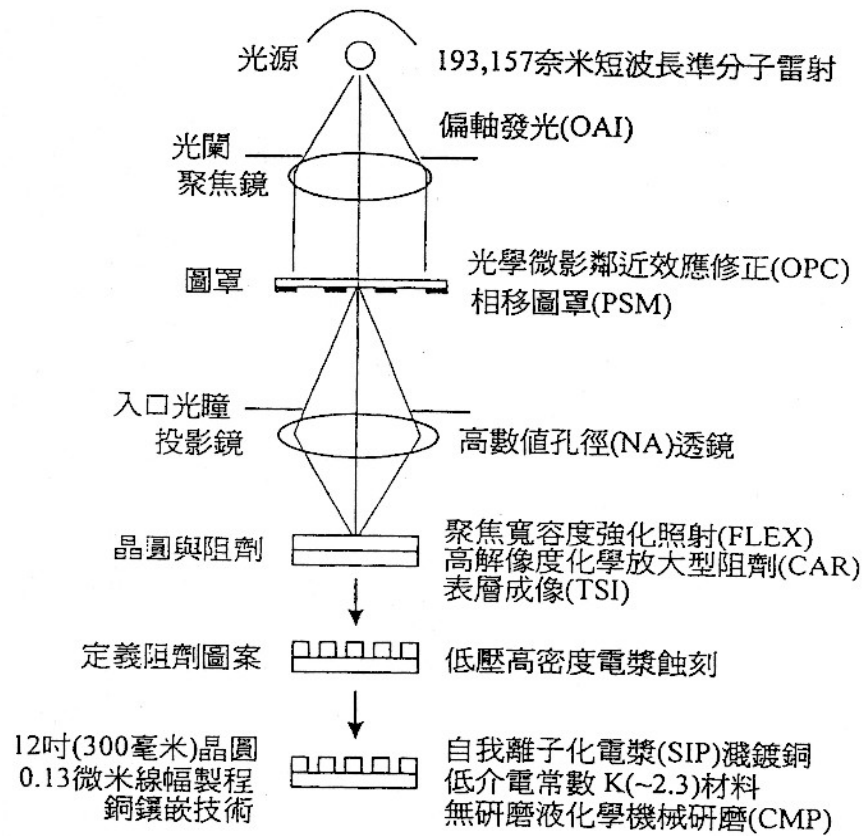


圖 1-1 光學微影改善微影品質方法示意圖

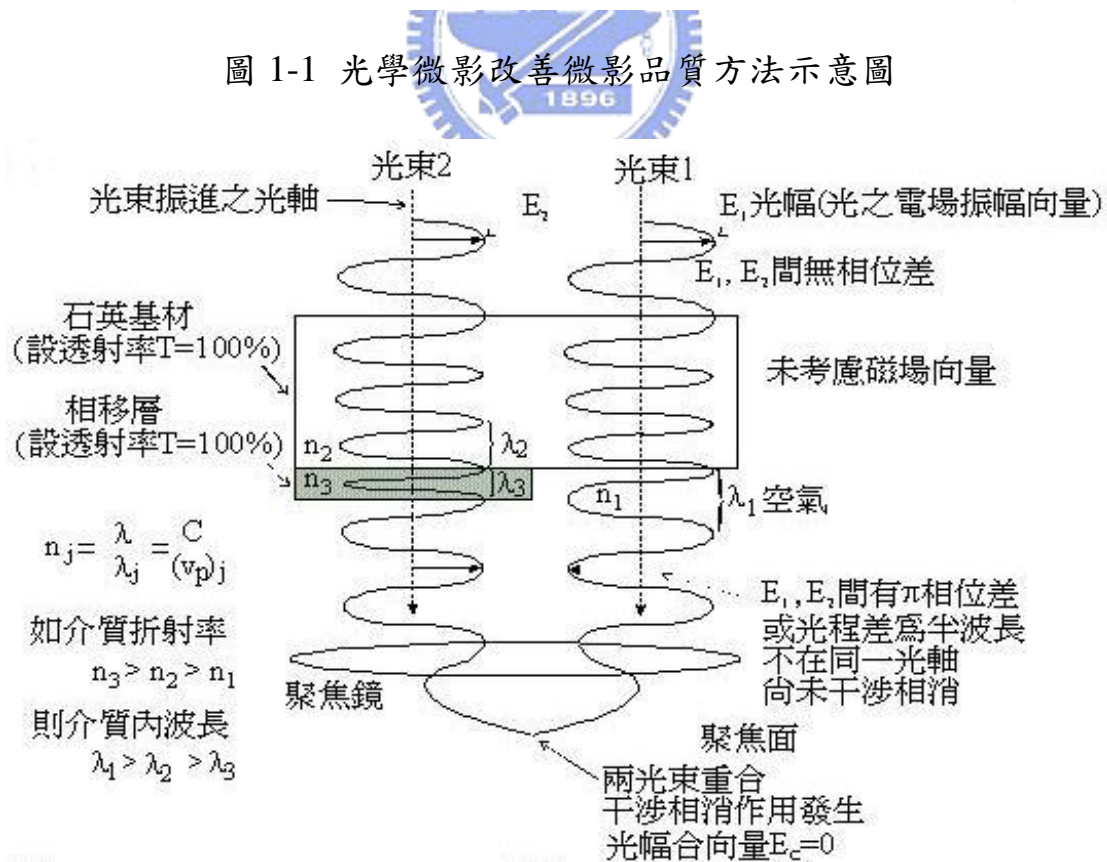
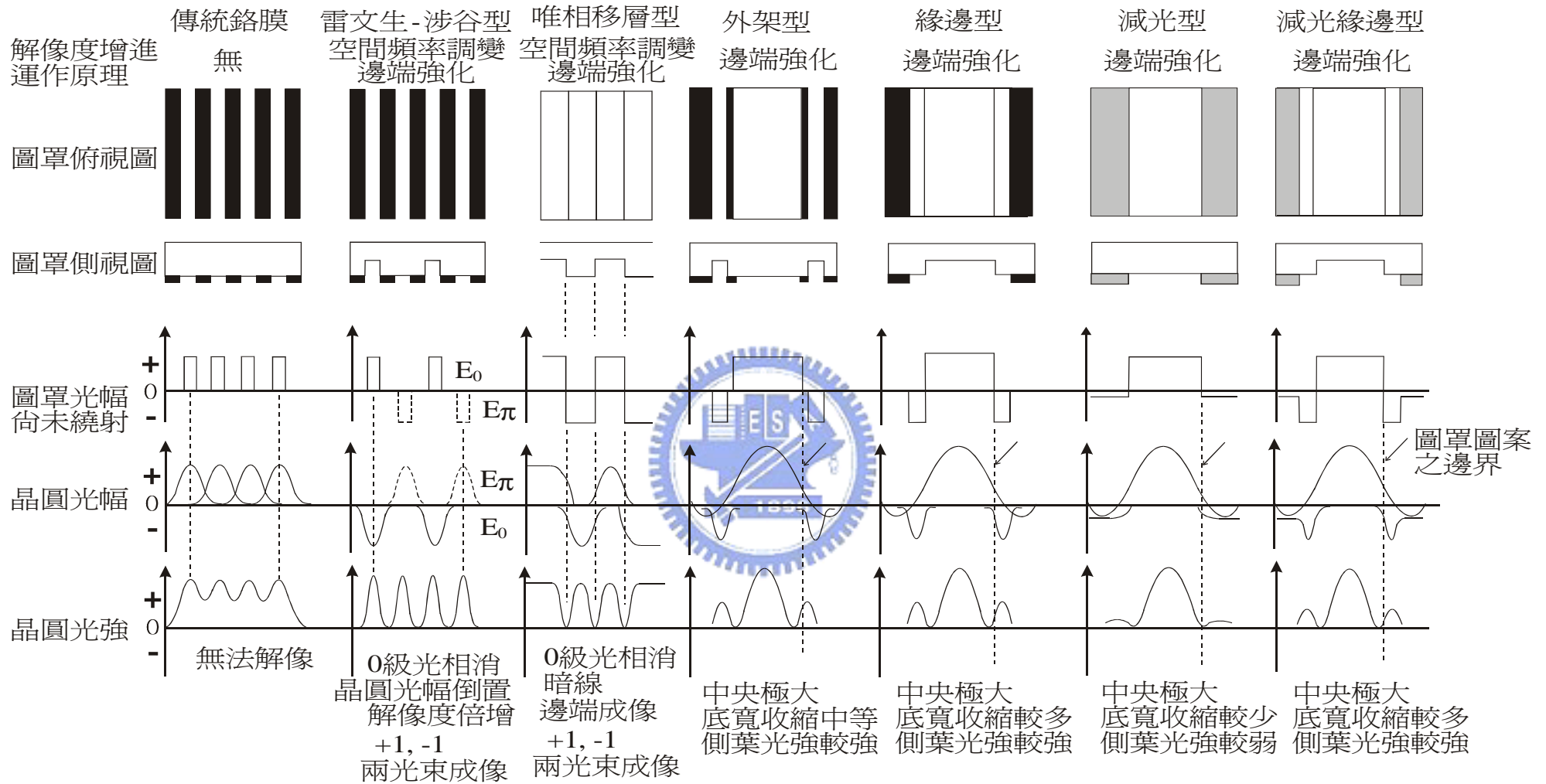


圖 1-2 嵌附層使光幅產生 π 相位差之示意圖



註：1. 雷文生-涉谷型（或稱間隔型、間隔光孔型）為+1, -1兩光束成像
 2. 唯相移層型可+1, -1兩光束成像（邊端成像）（上圖），或+1, 0, -1三光束成像（雙光強成像）（未繪出）
 3. 其他皆為+1, 0, -1三光束成像

圖 1-3 傳統圖罩與六種相移圖罩之光幅向量、中央主光強及側葉光強示意圖

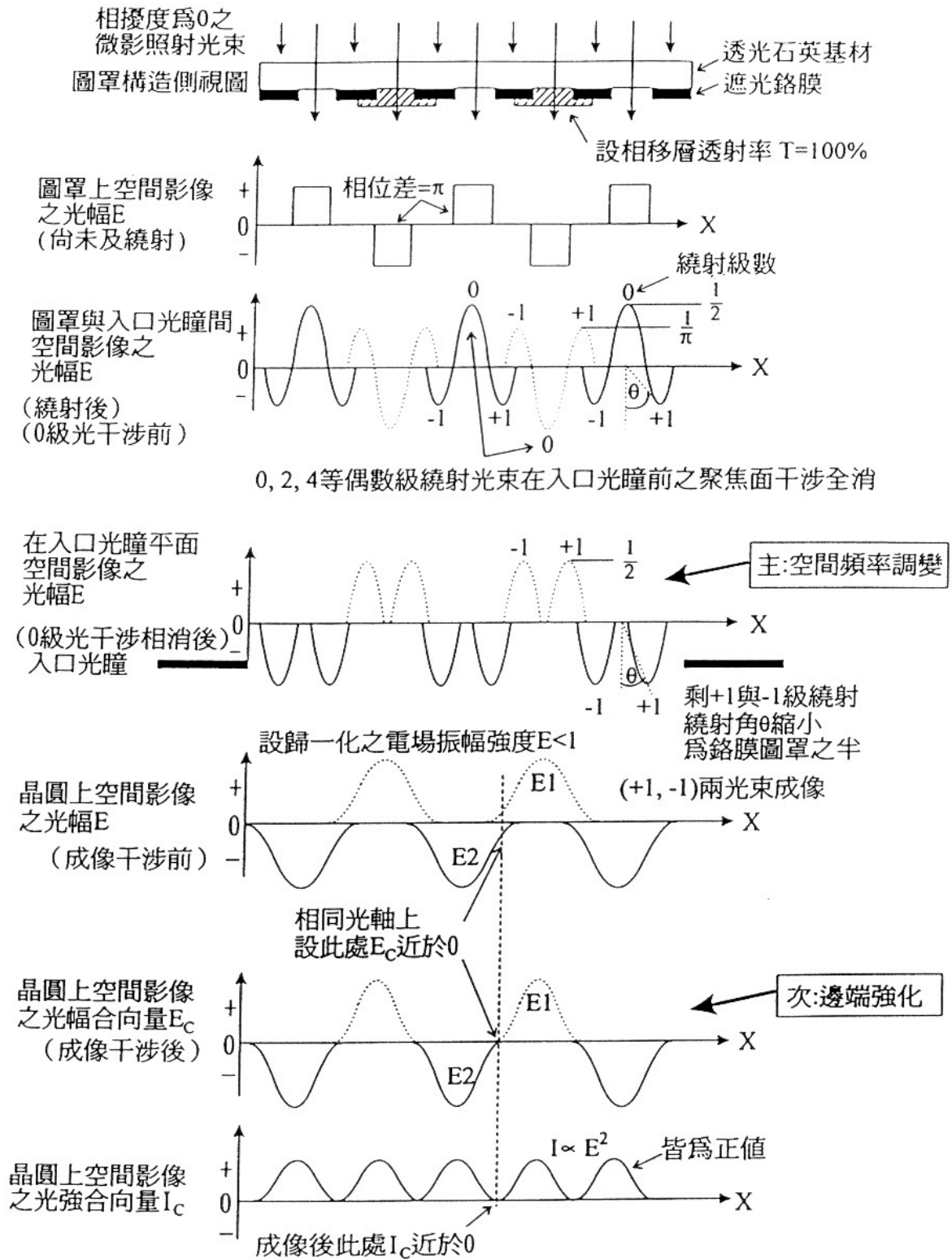
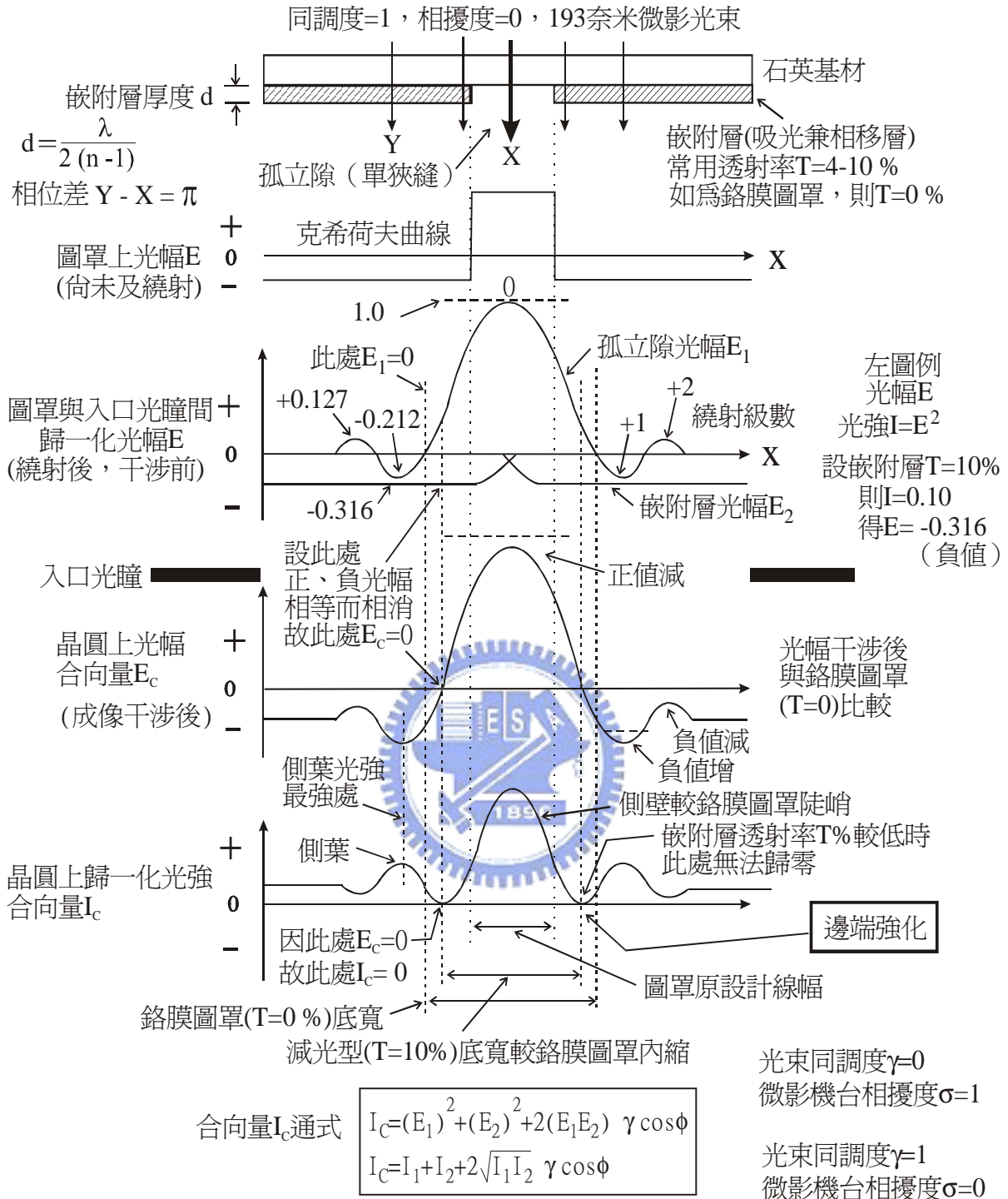


圖 2-1 雷文生-涉谷型相移圖罩之繞射光干涉前、後，其光幅及繞射角變化情形，與晶圓上空間影像之光幅及光強成像之狀況

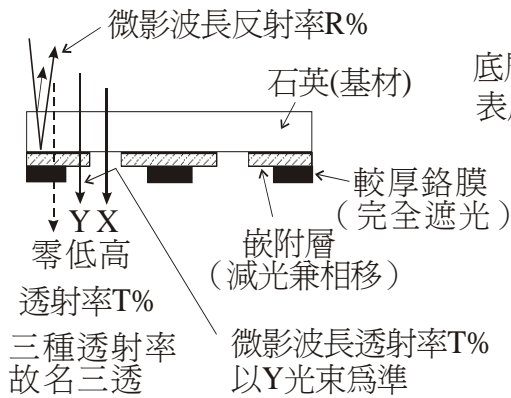


1. 假設晶圓上使用正型阻劑
2. 無空間頻率調變，有邊端(影像)強化之優點，但亦有側葉光強(不需要)之缺點
3. 中央光強(0級繞射)較鉻膜圖罩低，照射劑量需增
4. 製備一維孤立隙(溝槽)，底寬較鉻膜圖罩內縮，成像原理主要為狹縫繞射
5. 製備一維孤立線，光強類似上圖顛倒，但成像原理不同，主要為二邊端效應之合向量
6. 製備密集線/隙，效應為孤立線/隙之綜合，甚複雜
7. 製備二維接觸孔，中央光強低，側葉/中央光強比甚高，製備難度高

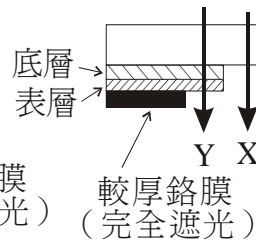
圖 2-2 嵌附式減光型相移圖罩原理

嵌附式減光型相移圖罩(EAPSM)分類，實際應用皆為三透(Tritone)減光型
 相對相移角度差(相位差)= $Y-X=\pi=180^\circ$ ，正規透射率 $T\%=4-10$ ，高透射率 $T\%=15-35$
 微影波長反射率 $R\%<15$ (嚴)， $R\%<25$ (寬)

1. 同質單層



2. 同質雙層

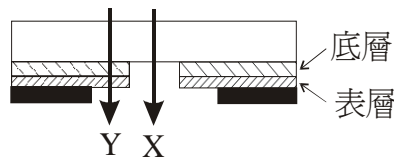


舉例：
 如表層與底層皆為 $ZrSiO$
 僅氧(O)原子比例不同
 193奈米微影波長
 透射率 $T\%\sim 6$

底層(低氧，透射率較低，主要功能為減光)
 表層(高氧，透射率較高，主要功能為相移)
 如與基材附著性良好，底層、表層交換亦可

舉例：248、193奈米微影波長
 $MoSiN_x$ ， $TiSiN_x$

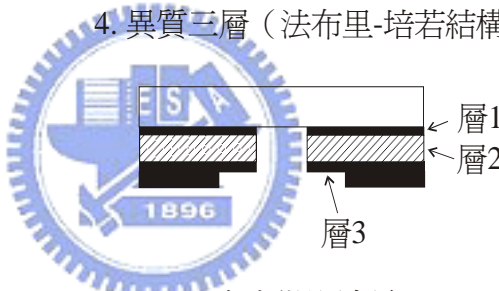
3. 異質雙層



表層與底層材質不同
 248、193奈米微影波長

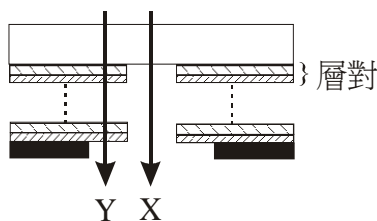
甲例 {底層(Ta為主要減光層)
 表層($TaSiO$ 為主要相移層)
 乙例 {底層(Ta-Hf為主要減光層)
 表層($SiON$ 為主要相移層)
 底層、表層交換亦可

4. 異質三層(法布里-培若結構)



舉例：
 層1：Cr，厚8奈米，甚薄可透光，主要減光層
 層2： Al_2O_3 ，厚116奈米，主要相移層
 層3：Cr，厚26奈米，甚薄可透光，主要減光層
 透射率 $T\%=5.3$ ，反射率 $R\%=8.6$

5. 異質多層超晶格(Super Lattices)
 厚度未按比例示意圖



超晶格舉例：

193奈米微影波長

甲例

$AlN(40埃)$ (相移)
 + $CrN(10埃)$ (減光)
 13層對
 $T\%\sim 10$

乙例

Si_3N_4 (相移)
 + TiN (減光)
 4層對
 $T\%\sim 10$

圖 2-3 嵌附式減光型相移圖罩嵌附層之分類

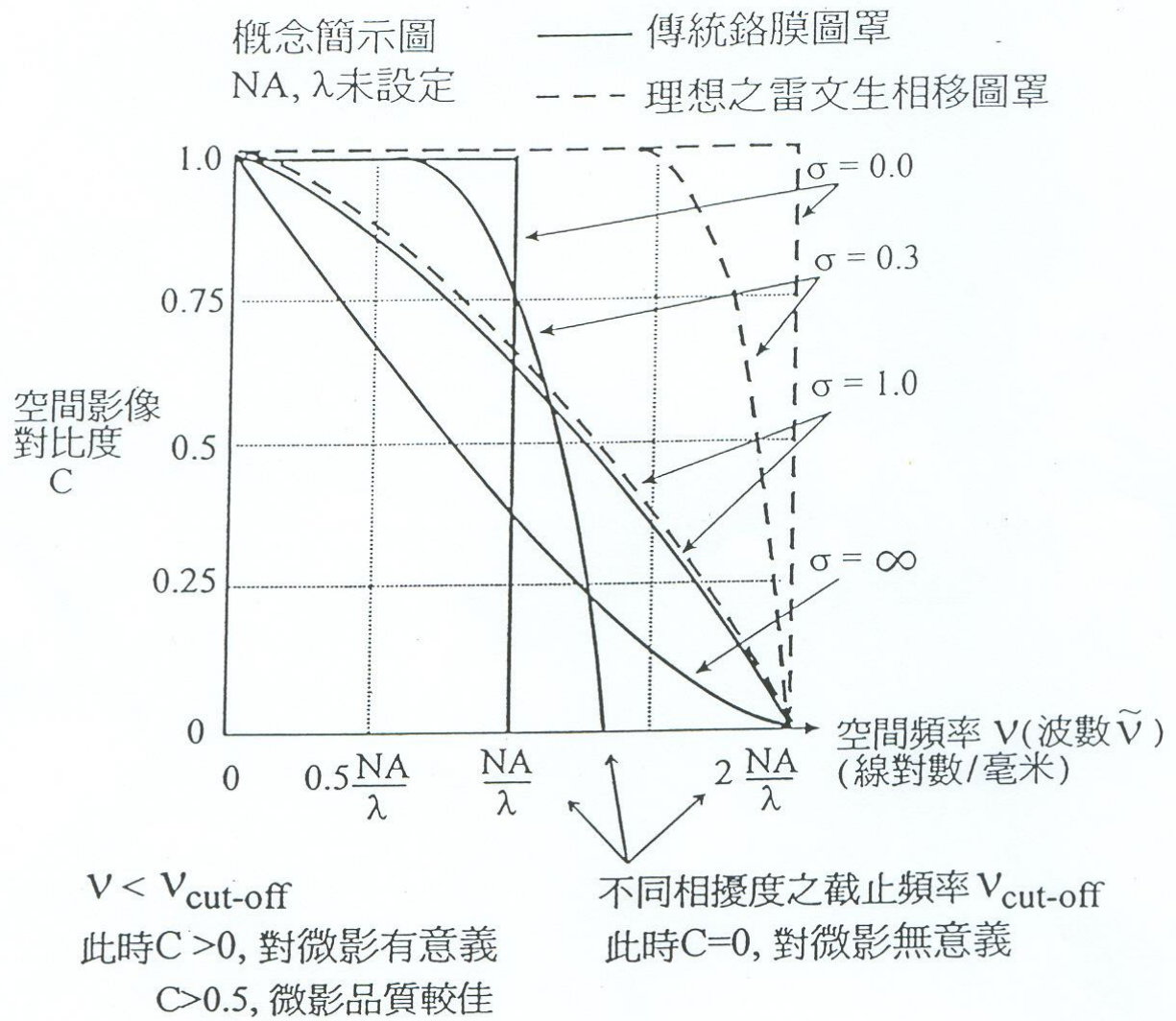
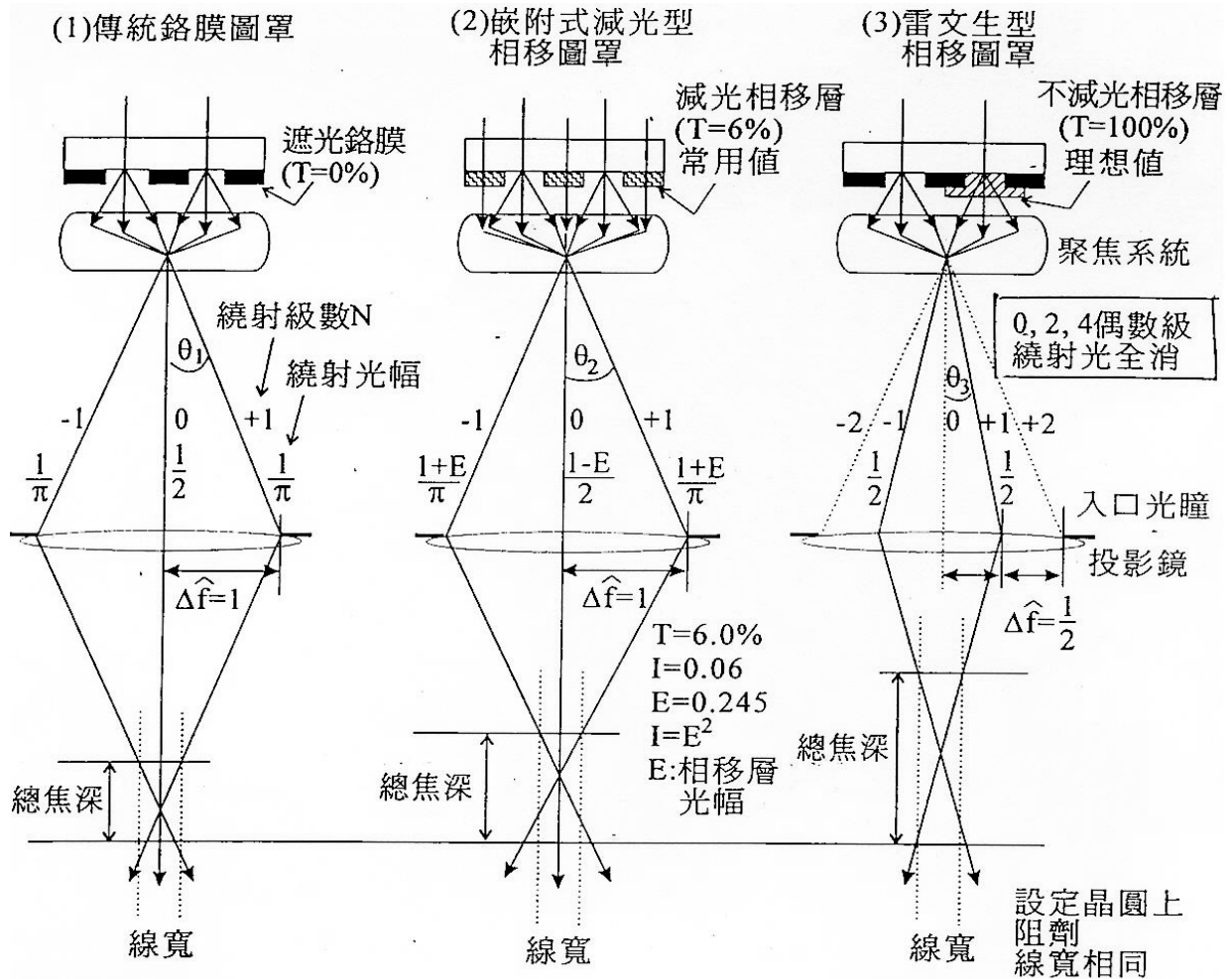


圖 2-4 相擾度、空間影像對比度與空間頻率之關係圖



相擾度=0時

三光束成像
 繞射角 θ_1 取最大值
 圖罩隙寬達最細
 各級繞射光未消
 總焦深最短
 截止頻率 $\nu_{\text{cut-off}} = NA/\lambda$
 解像度較差
 無邊端強化
 無空間頻率調變

三光束成像
 $\theta_2 = \theta_1$
 圖罩隙寬達最細
 各級繞射光未消
 總焦深較長
 $\nu_{\text{cut-off}} = NA/\lambda$
 解像度中等
 有邊端強化
 無空間頻率調變

二光束成像
 $\theta_3 = \theta_1/2$
 圖罩隙寬可再減半
 偶數級繞射光(0, 2, 4等)全消
 總焦深較長
 $\nu_{\text{cut-off}} = 2NA/\lambda$
 解像度為銘模之倍
 邊端強化為次
 空間頻率調變為主

相擾度=1時

皆為(0,+1)或(0,-1)二光束成像,類似偏軸發光(OAI)
 截止頻率皆為 $2NA/\lambda$
 在截止頻率,空間影像對比度 $C=0$,對微影無意義
 空間頻率 < 截止頻率,空間影像對比度 $C>0$,對微影有意義

圖 2-5 傳統、嵌附式減光型與雷文生型相移圖罩之比較

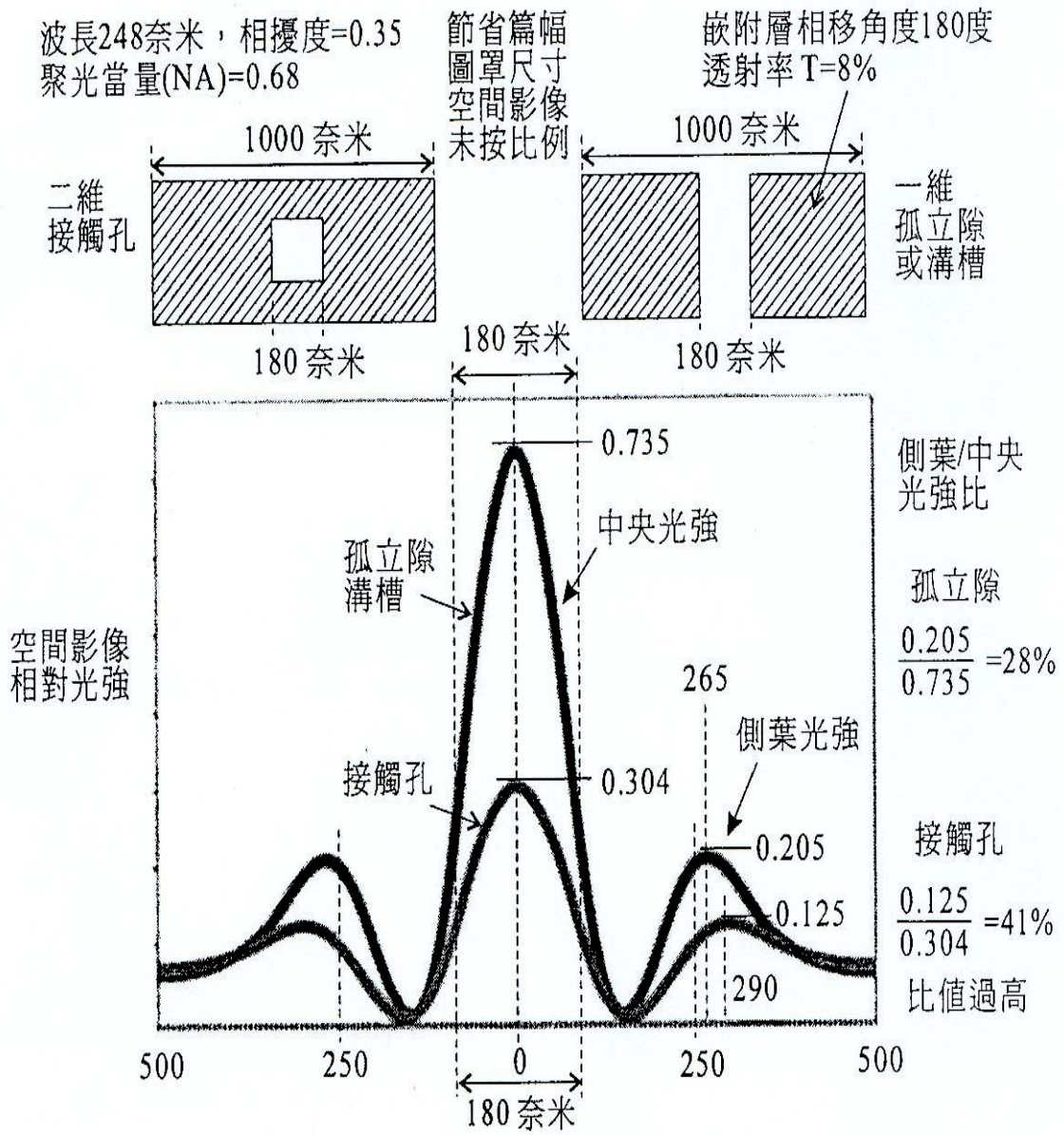
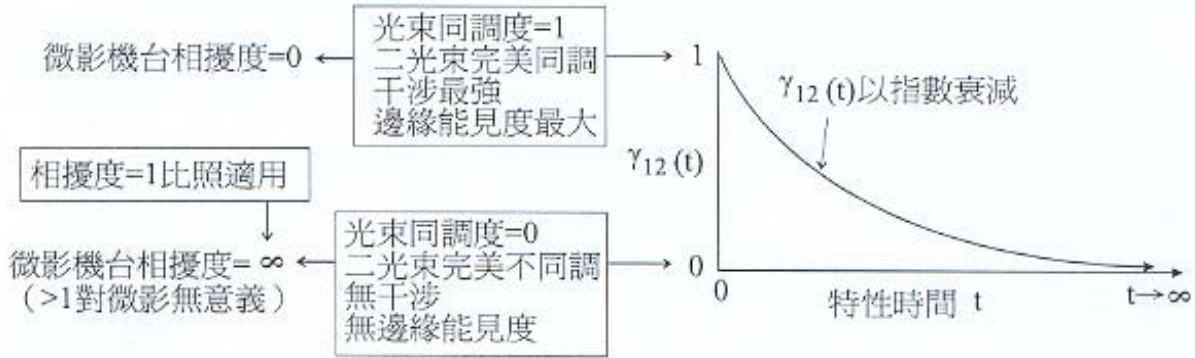


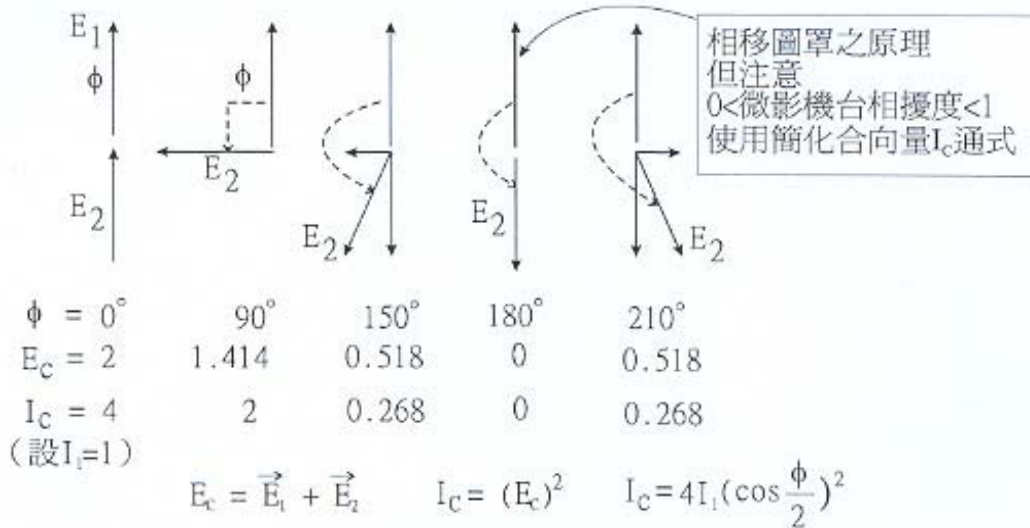
圖 2-6 二維接觸孔與一維孤立隙之空間影像光強



$\gamma_{12}(t)$ ：習稱同調度(Degree of Coherence)，此處定義範圍 0-1，而非0- ∞
 為時間之函數，以指數衰減(Exponential Decay)
 物理意義為光束1, 2 (或光子1, 2) 因干涉導致之邊緣能見度(Fringe Visibility)大小



(b) 光束同調度=1 (微影機台相擾度=0，不存在)，完美干涉



(c) $\gamma_{12}(t)$ 簡化爲 γ

光束同調度($\gamma=1$) = 微影機台相擾度($\sigma=0$)
 光束同調度($\gamma=0$) = 微影機台相擾度($\sigma=\infty$) (相擾度 $\sigma=1$ 比照適用)
 同調度 γ 範圍：0-1 (不是0- ∞) 假設同調度 γ +相擾度 $\sigma=1$
 二光束夾角 ϕ =相移圖罩之相對相移角度 θ

簡化合向量 I_c 通式
 雖有誤差
 但適用各種情況

$$I_c = (E_1)^2 + (E_2)^2 + 2(E_1 E_2) \gamma \cos \phi$$

$$I_c = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \gamma \cos \phi$$

圖 2-7 同調度、相擾度與光強計算之原理

光束同調度 γ (Gamma)	1	←	→	0
微影機台相擾度 σ (Sigma)	0			1 (∞)
干涉	強			弱 (無)
邊緣能見度(Fringe Visibility)	大			小 (無)

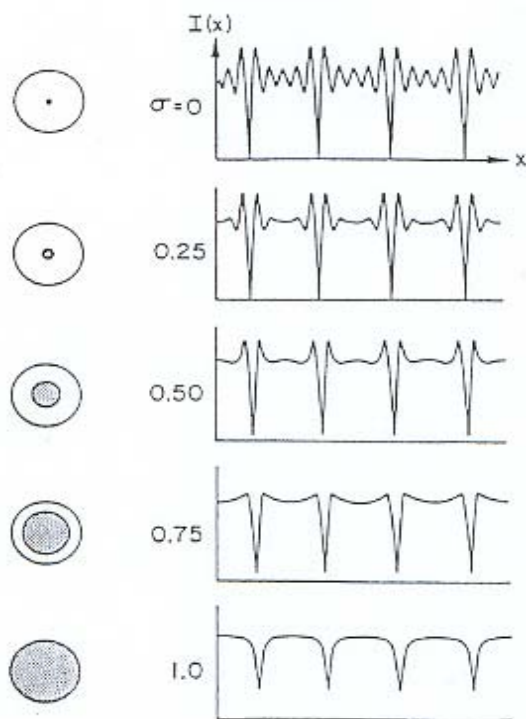
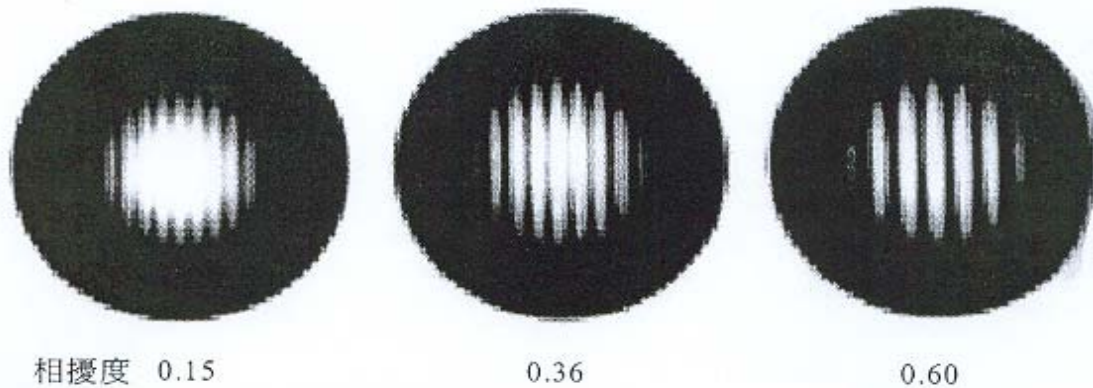


圖 2-8 相擾度變化對邊緣能見度之影響

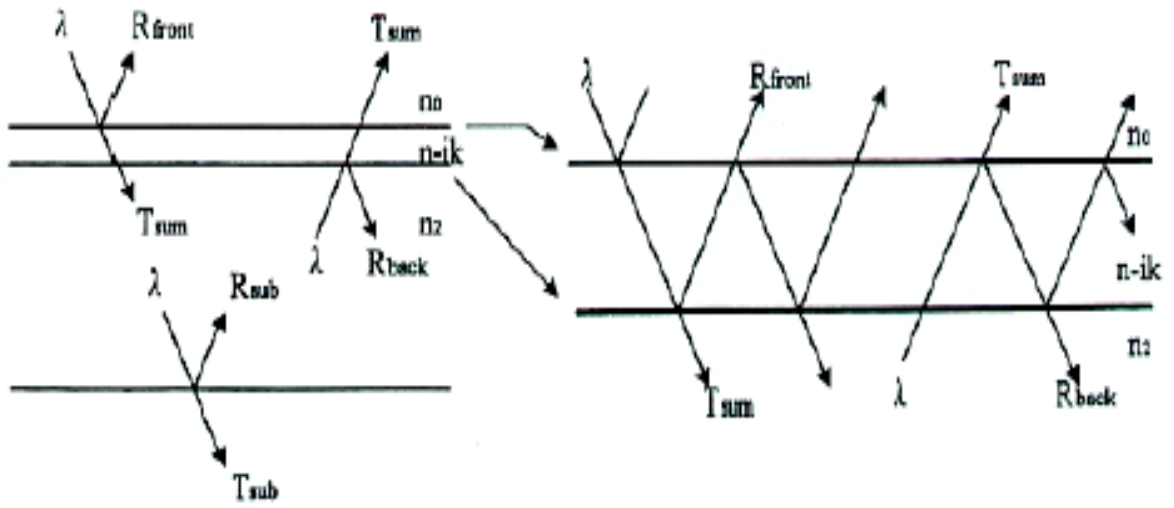


圖 2-9 嵌附層與基材本身之多重反射示意圖

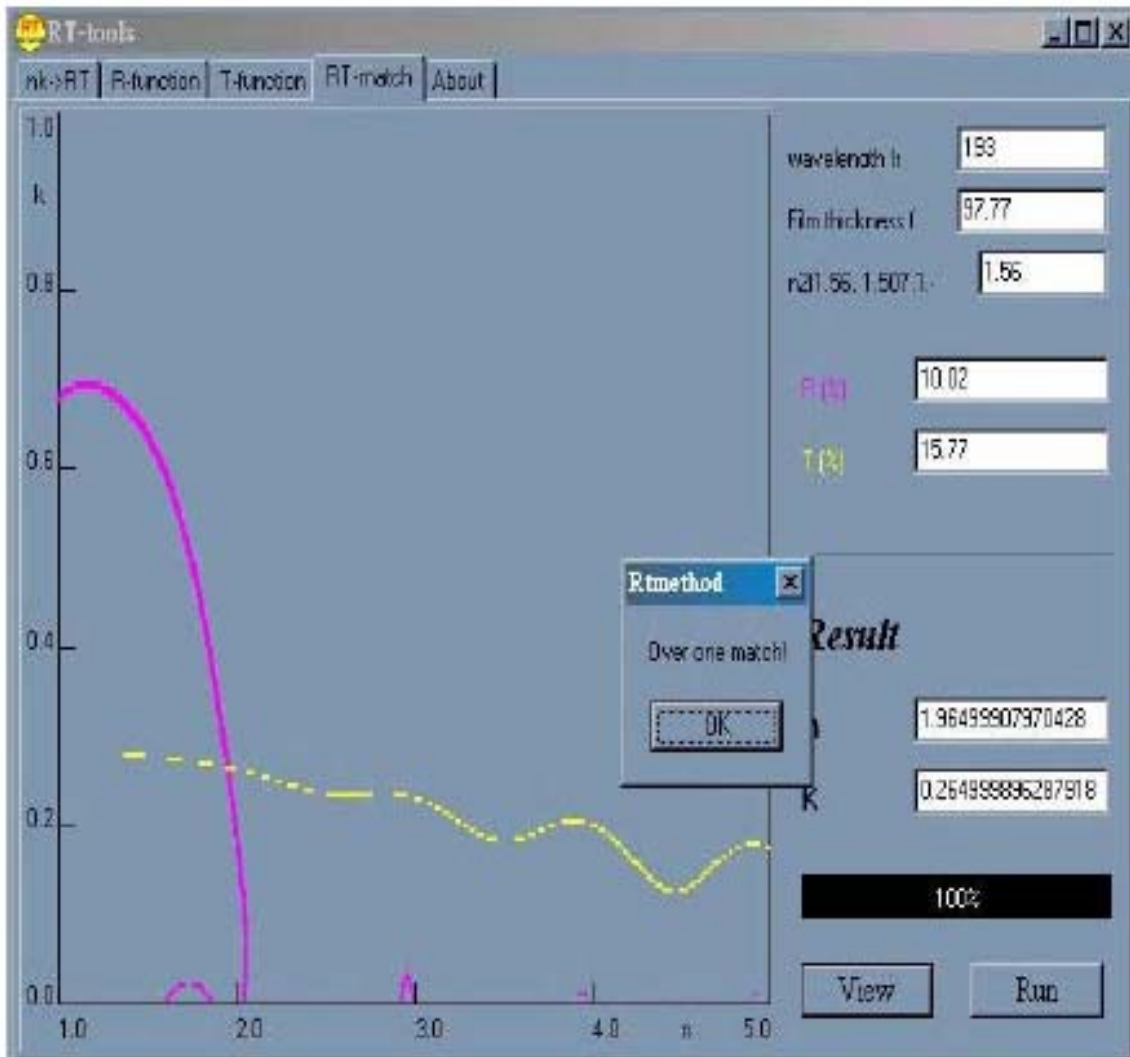


圖 2-10 由已知厚度、反射率與透射率經 R-T Method 求出 n 、 k 值

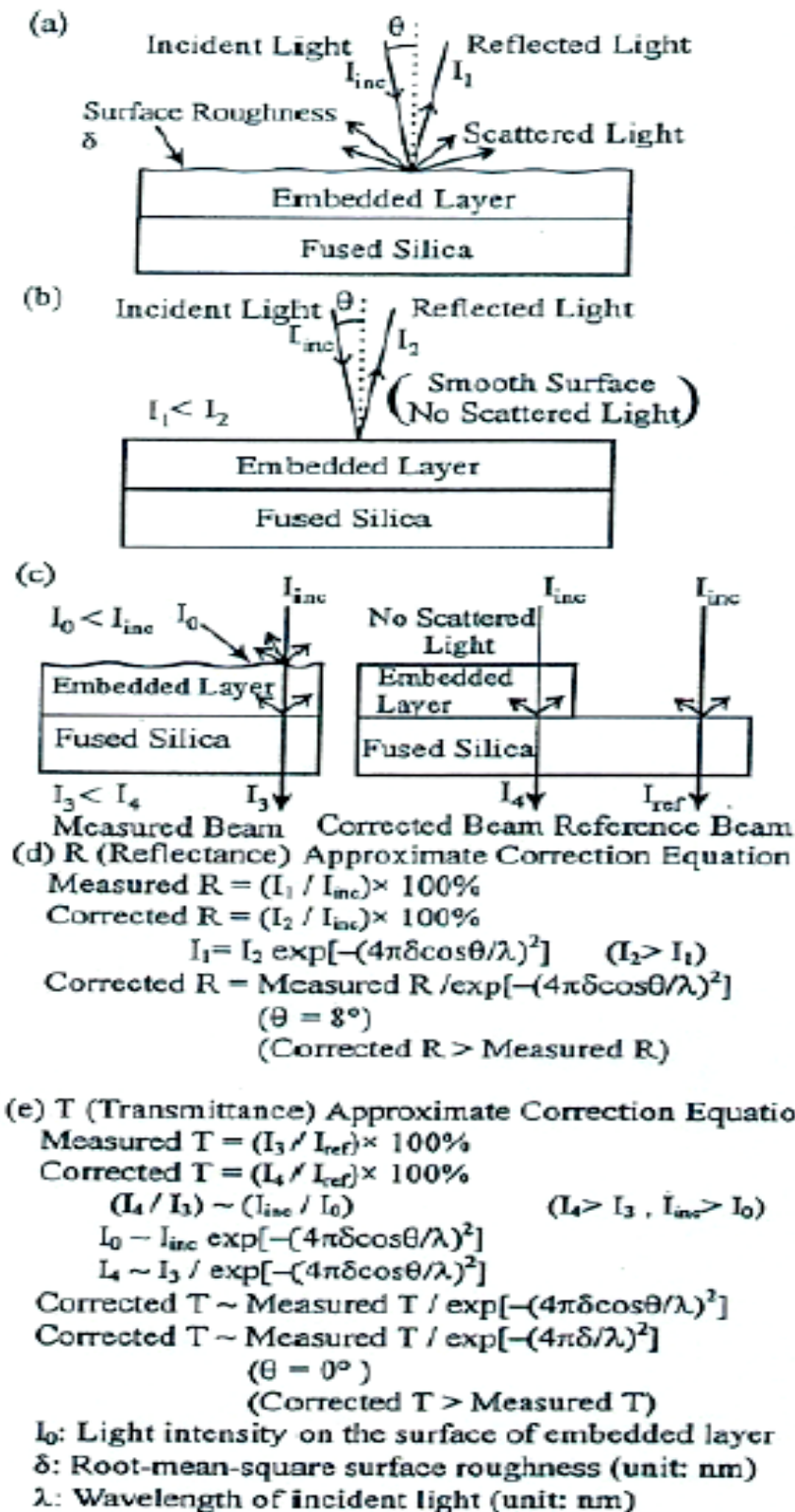


圖 2-11 Modified R-T Method 之修正方程式

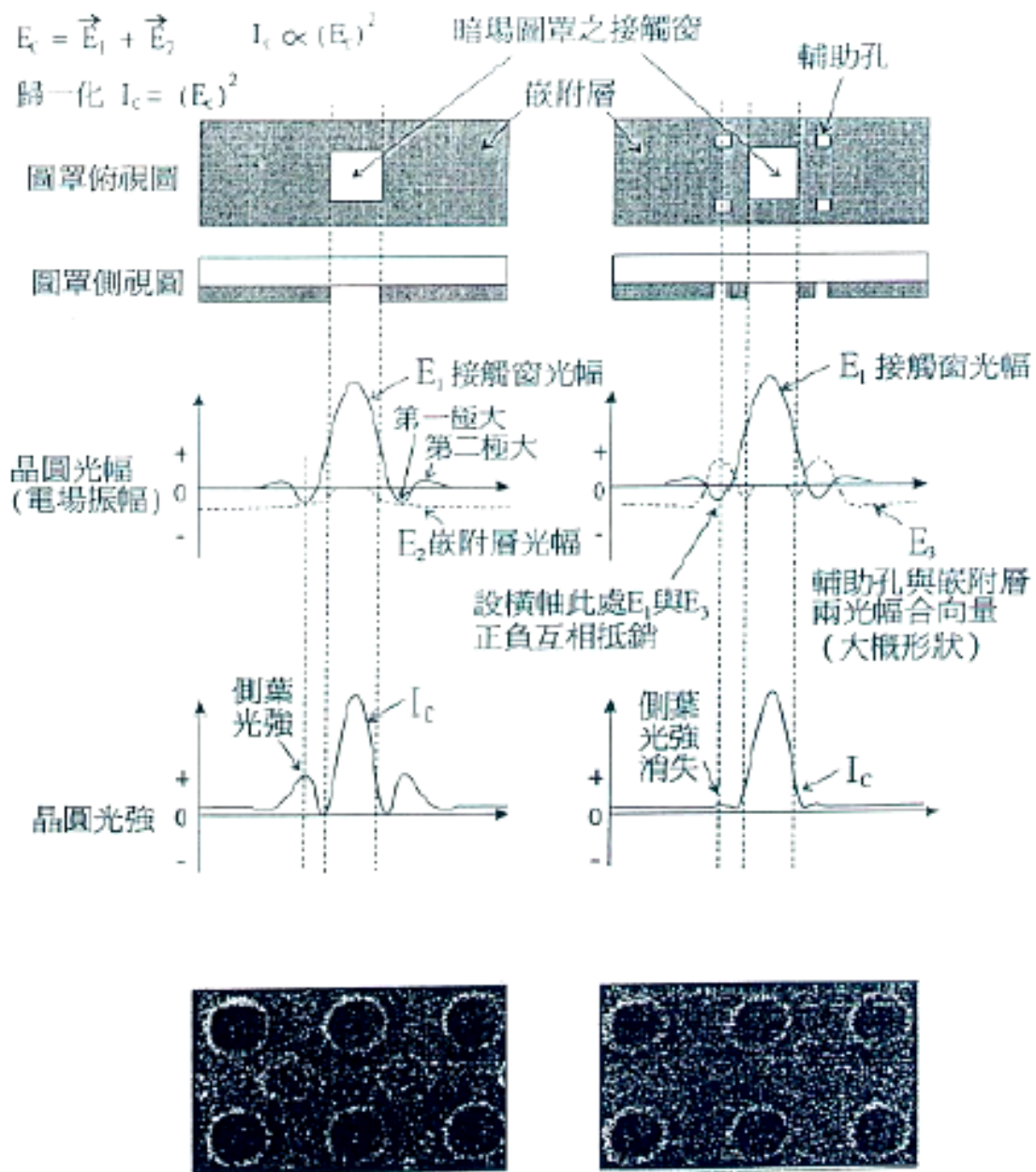


圖 2-12 減光型相移圖罩之側葉光強產生示意圖
 及應用輔助孔消除側葉光強之原理

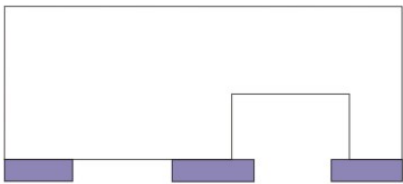
Space with bias



最基本的圖罩設計
利用蝕刻石英產生180度之相位差
鉻膜做為遮光之用
bias乃是經過模擬結果後，回饋至Mask

優點: 此型最易製造。
缺點: 但需經模擬才可決定bias之程度
通常bias非常小，難以控制。

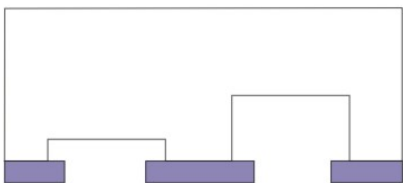
Undercut 1 side



沉積鉻膜後，過蝕刻石英
基本上此型與space with bias有異曲同工之妙。
space with bias利用 bias來創造較佳之成像品質，而undercut則是使用鉻膜遮光達成同樣的目地。

缺點: undercut不易控制。

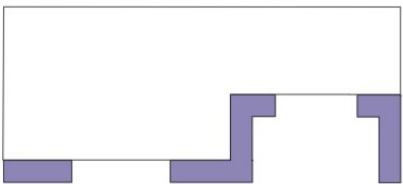
Undercut 2 side



此型針對 Dual Trench之缺點改良而成。
使用鉻膜遮擋側壁散色光，所以能在Mask上形成較完美的電場振幅，而不受側壁光之干擾。

優點: 較 Dual Trench 成像好。
缺點: undercut 壽命短。

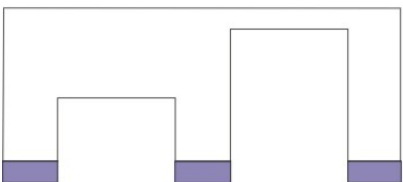
SCAA-type



SCAA-type 與 space with bias 有最好的成像品質。

優點: 成像品質好。
缺點: 側壁鉻膜成長不易。

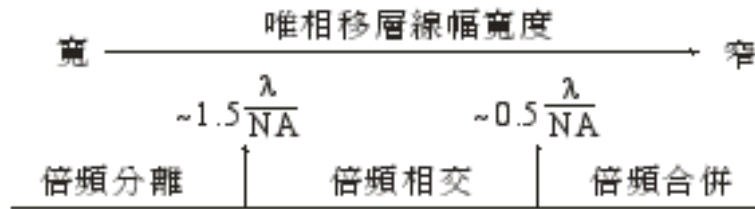
Dual trench



此類型圖罩因:
1. 側壁光散射，造成能量損失
2. 石英側壁表面會影響 phase-shifting
故成像品質不好

圖 2-13 各種改良式雷文生式圖罩結構與優缺點

(a) 唯相移層型（無銘膜型）相移圖罩



(b) 邊端成像式

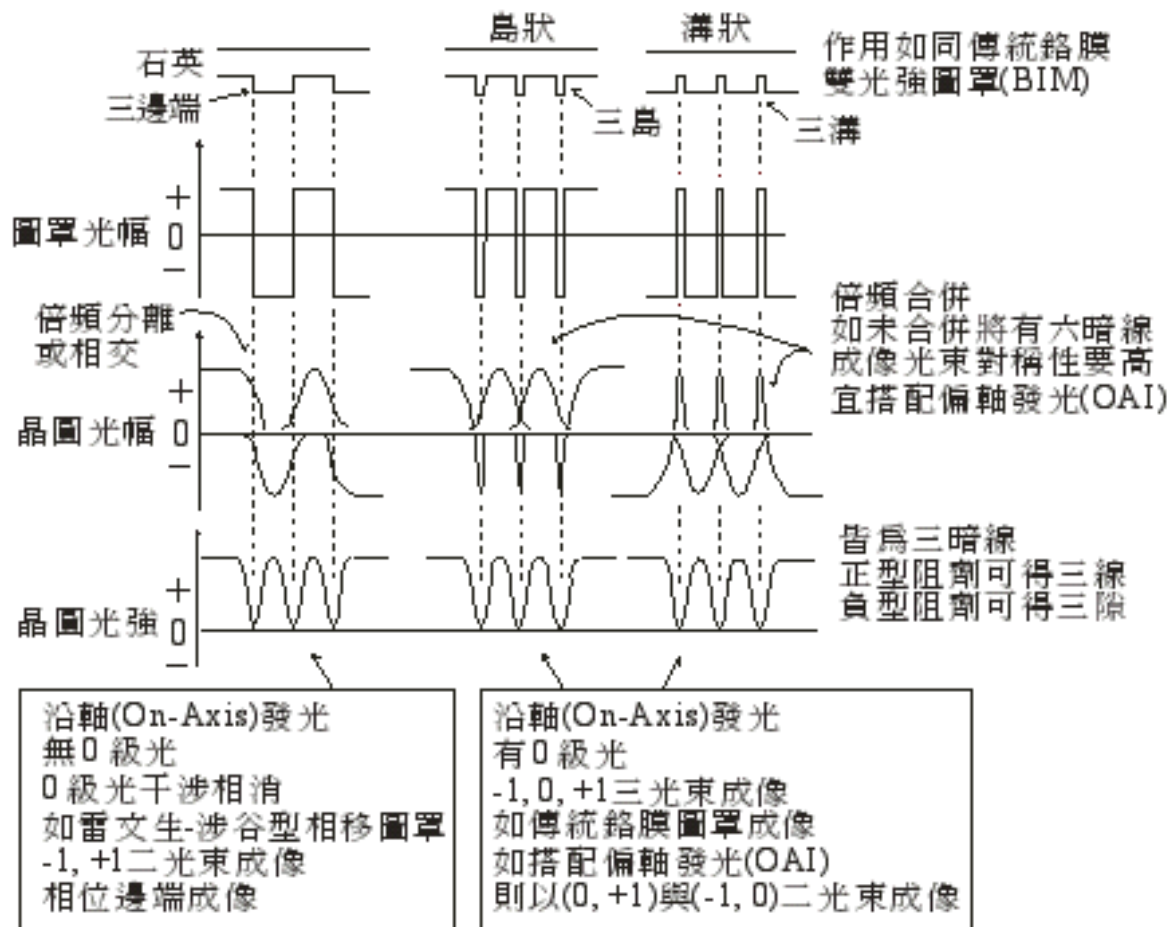


圖 2-14 唯相移層線幅寬度大小對空間光強之比較

三光束傳統發光
(3 Beams Conventional Illumination)

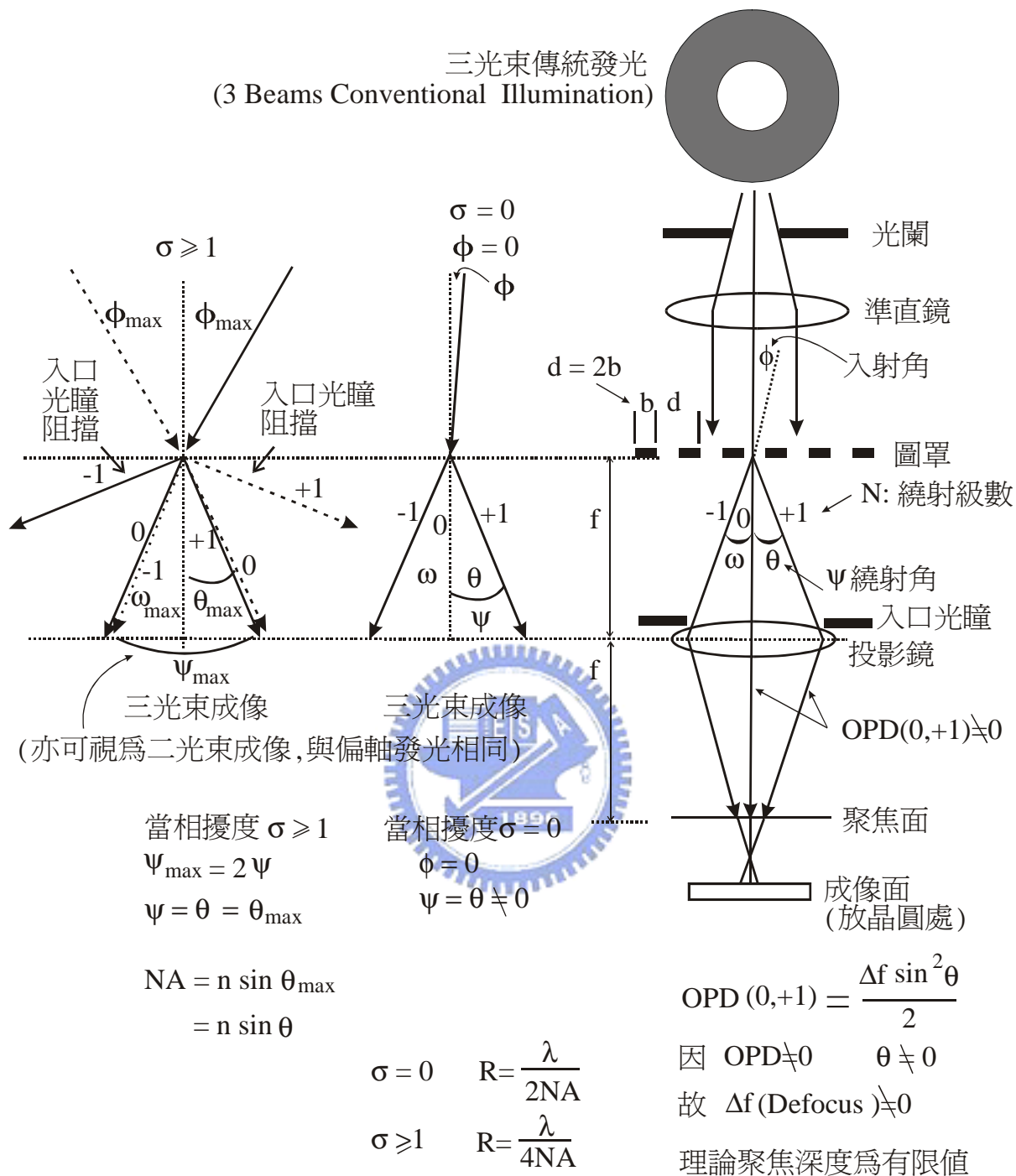
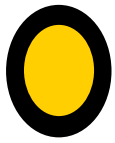
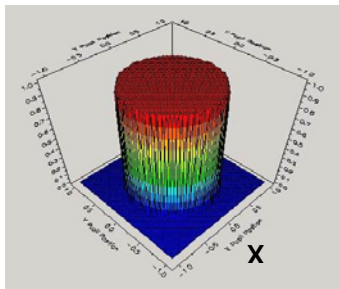
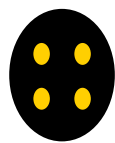
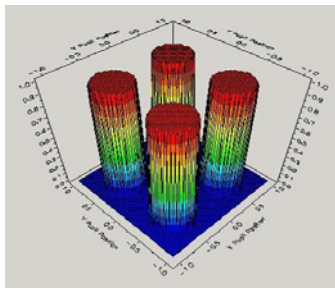


圖 2-15 三光束傳統發光原理



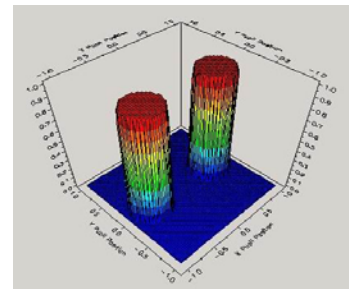
Conventional

(A)



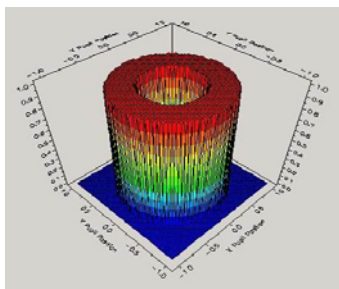
Quadrupole
Normal

(C)



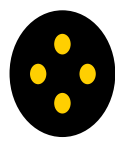
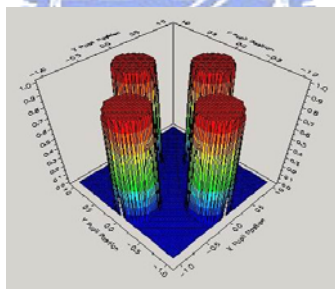
Dipole
X-oriented

(E)



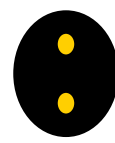
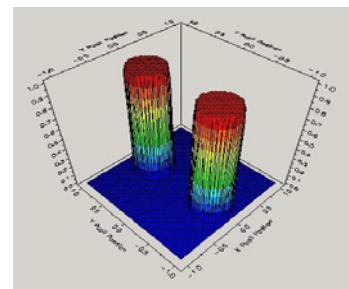
Annular

(B)



Quadrupole
Cross

(D)

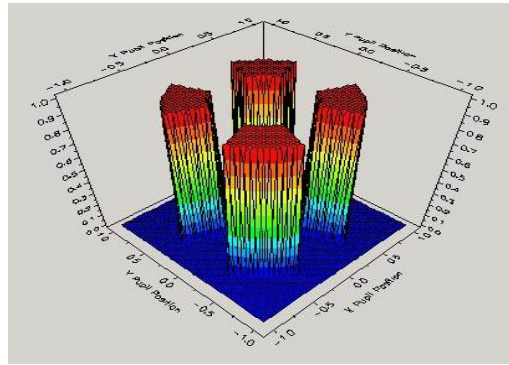


Dipole
Y-oriented

(F)

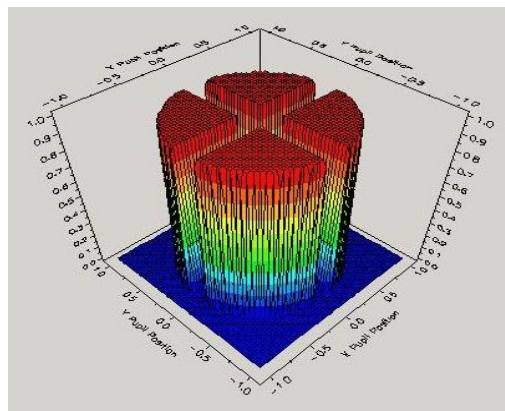
圖 2-16 各類型偏軸發光型式

(A)



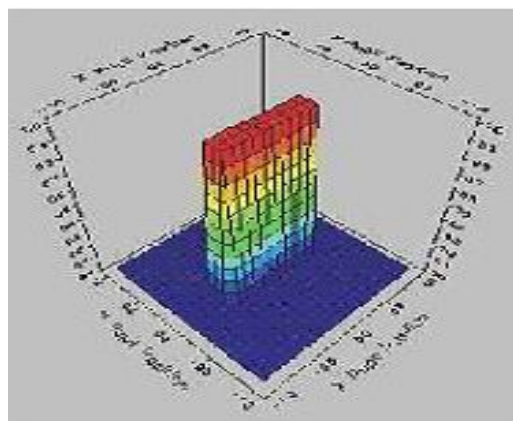
Quasar

(B)



(Super High Resolution by IllumiNation Control)

(C)



Slit

圖 2-17 其他型式之偏軸發光

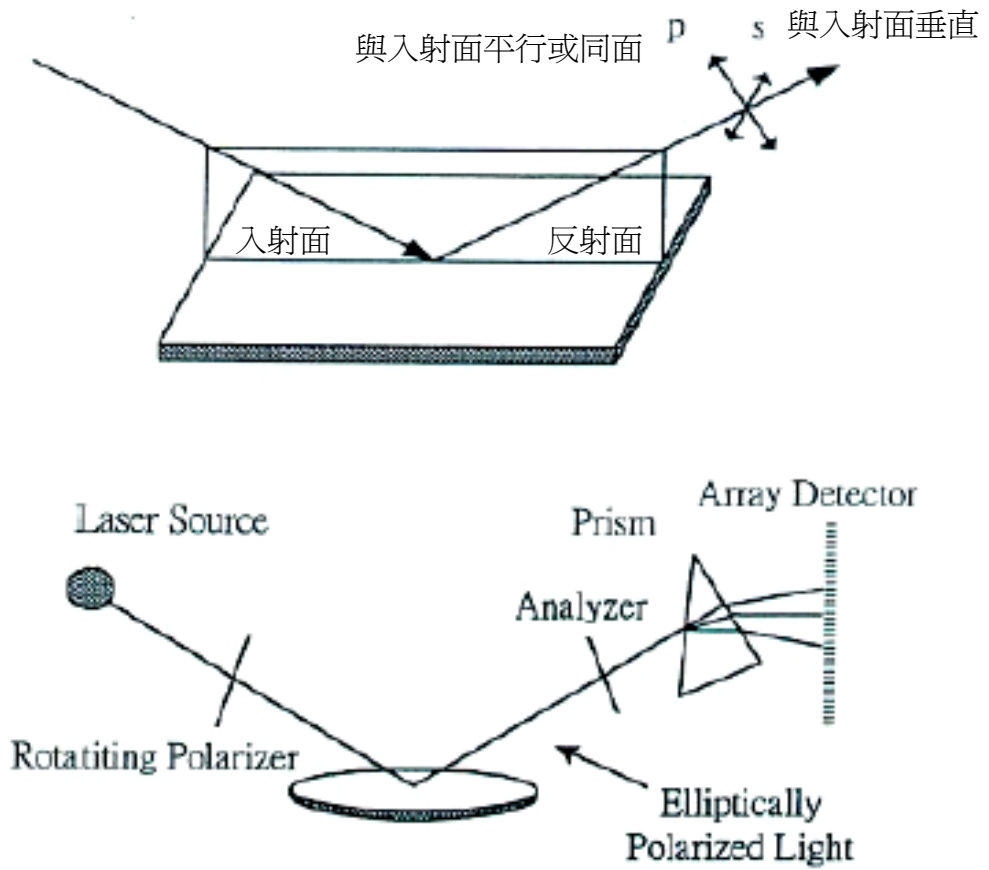


圖 3-1 橢圓儀基本原理示意圖

$$\left(\frac{E_x}{a_1}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{a_2}\right)^2 - 2\frac{E_x}{a_1} \cdot \frac{E_y}{a_2} \cdot \cos \Delta = \sin \Delta. \quad (\text{A})$$

$$\begin{aligned} S_0 &= a_1^2 + a_2^2; \\ S_1 &= a_1^2 - a_2^2; \\ S_2 &= 2a_1a_2 \cos \Delta; \\ S_3 &= -2a_1a_2 \sin \Delta \end{aligned} \quad (\text{B})$$

$$S_0^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 \quad (\text{C})$$

$$\rho = \frac{a_1}{a_2} \cdot \exp[i(\delta_p - \delta_s)] = \text{tg } \psi \cdot \exp(i\Delta) \quad (\text{D})$$

$$\begin{aligned} \text{tg } 2\psi &= (S_2^2 + S_3^2)^{1/2} / (-S_1) \\ \text{tg } \Delta &= (-S_3) / S_2 \end{aligned} \quad (\text{E})$$

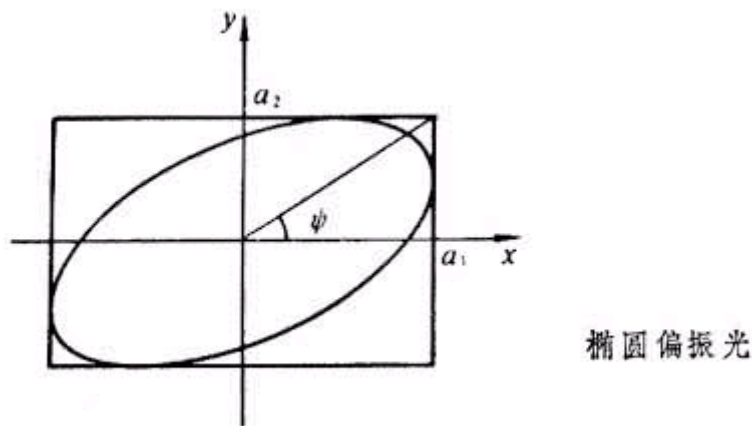


圖 3-2 橢圓儀原理之數學式與橢圓偏振光示意圖