

單晶圓旋轉式清洗機 應用於 III-V 族 GaAs 濕式蝕刻

王志成、王家康、詹印豐 / 弘塑科技公司

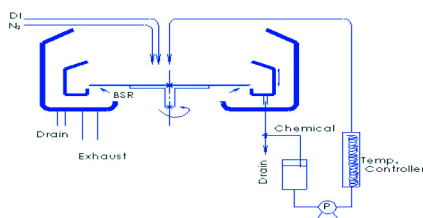
III-V 複合物半導體元件因具有直接能隙和較高之電子遷移率，適合於製造光電和高頻通訊元件，而複合物半導體元件製造流程中皆需採用濕製程或搭配乾製程使用。基於產能及成本之考量，濕式製程已廣泛地應用於矽半導體 IC 與 III-V 複合物半導體元件之製造，如光阻去除、金屬層剝離與蝕刻、清洗、電鍍及化鍍等製程。然而濕蝕刻製程品質要求也影響設備的選擇，尤其應用於蝕刻製程時間較短及均勻度要求相對嚴格時，可選範圍受到限制。本文即為單晶圓設備應用於 GaAs 濕蝕刻之性能探討，尤其各製程參數對蝕刻均勻度之影響，例如轉速、流量、溫度、Media Dispense 等關鍵因素，在本文中將詳細探討。

實驗

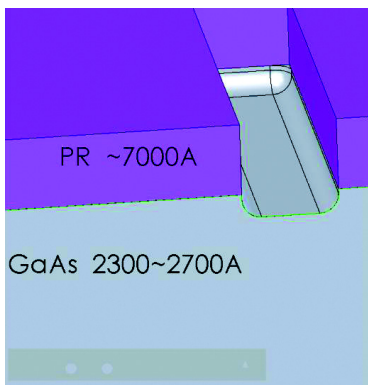
平臺配置如圖一所示：於馬達驅動之可旋轉平臺上放置 Wafer，並適時提供需要轉速；再配合上方程式控制擺動之 Media Dispense Arm 調配製程所需之 Media 經噴嘴灑至晶圓表面；所使用之 Media 有化學藥品、DI 水、N₂ 等，而垂直離心力作用方向之全週為液體的承接盤，承接處理後液體並分送至廠務或回收系統：

實驗中噴嘴種類可區分為 Stream Nozzle 與 Spray Nozzle 兩種；Nozzle 之形狀表示主酸流出噴嘴後之截面形狀；Stream Nozzle 為連續之圓柱形，而 Spray Nozzle 為不連續之霧化液滴，其由噴嘴至晶圓表面為逐漸擴散之圓錐狀。

實驗中使用之 GaAs Patterned Wafer 其結構示意如圖



圖一：實驗平臺示意。



圖二：GaAs Patterned Wafer 結構。



二所示，除光阻覆蓋處外皆為蝕刻目標。每次蝕刻時間約 1 分鐘，蝕刻深度控制於 2300~2700Å。本次厚度值將為下一次實驗之起始厚度，Wafer 重複使用直至蝕刻深度達 30,000Å 左右。

實驗中所使用化學藥品其主酸成份為：氨水、琥珀酸、雙氧水與 DI 水之混合液，次酸成份為氫氯酸與 DI 水，主酸溫度控制於 $22.3 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 。

蝕刻前需先將 GaAs 表面處理為相對親水性，其程序為：在 200 rpm 轉速下以 DI 水（流量：800 cc/min）沖洗晶圓表面 15 秒（如表一 No.1），然後在相同轉速下以次酸除去晶圓表面的氧化層，時間約 20 秒（如表一 No.3），接著再以 300 rpm 轉速用 DI 水 30 秒洗淨 Wafer（如表一 No.4），此時蝕刻配方開始進行，實驗參數包括流量、溫度、轉速與佈酸方式，其設定列於表一（No.6~9），蝕刻結束後 Wafer 需以 60 秒 DI 水洗淨、旋乾；

其中流量、溫度未直接聯結於配方中；Media 欄位為 Process 使用藥品種類代號；此處 CH12，CH21，TSR 分別表示主酸、次酸與 DI 水。

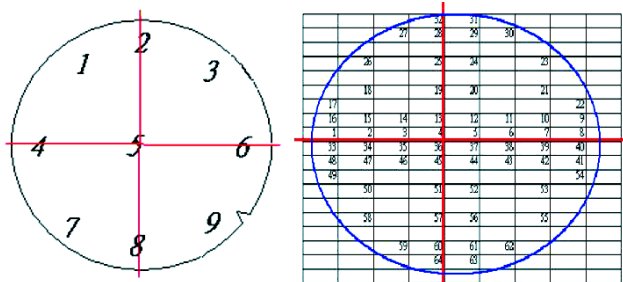
No	Time	Speed	Acc	Arm Recipe	Media
1	15.0	200	500	**Center**	[TSR]
2	1.0	200	500	**Center**	
3	20.0	200	500	150_swing_5	[CH21]
4	30.0	300	500	**Center**	[TSR]
5	1.0	300	500	**Center**	
6	0.3	600	500	**Center**	[CH12]
7	0.5	250	500	puddle_d_s 7000p	[CH12]
8	1.7	30	500	150_pd_e_c_1	[CH12]
9	57.5	60	500	150_swing_ex	[CH12]
10	60.0	500	500	**Center**	[TSR]
11	120.0	1500	1000	**Home**	
12	5.0	0	2000	**Home**	

表一：配方圖

本實驗之均勻度(Uniformity)以 U% 或 NU 表示，其計算式定義如公式(1)：

$$U\% = \frac{2(\text{Max} - \text{Min})}{\text{Average}} * 100\% \quad (1)$$

膜厚量測儀器為 KLA-Tencor P22；Within Wafer 之實量測 9 點，但 Wafer to Wafer 則量測 64 點，Mapping 位置如圖三所示。



圖三：膜厚量測位置(a)Within Wafer(b)Wafer-to-Wafer。

結果與討論

(I). Within Wafer 均勻度之實驗(其實驗參數彙整如表二)：

此實驗參數流量可區分為 700、750、300、800 cc/min 四種情況，下列依此將實驗結果分類敘述：

表二：實驗參數彙整表

參數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
FlowRate (cc/min)	700	700	700	750	750	750	750	750	300	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Main Spin Speed	60	60	100	10	250	500	200	250	300	300	600	± 60	± 60	± 60	± 60	± 60	± 60	± 60
Swing Arm Speed(sec)	1.4	1.4	1.4	static	static	static	static	1.4	1.4	1.4	1.3	static	static	static	static	static	static	static
Nozzle Type : Stream or Spray	stream	stream	stream	spray	spray	spray	spray	stream	stream	stream	stream	stream	stream	stream	stream	stream	stream	stream
Uniformity (%)	47	24	25	18	31	20	12	11	11	11	20	11	7	9	5	7	7	10

A. Flowrate : 700 cc/min，為 Case 1~3：

Case 1：以低轉速 60 rpm，Stream Nozzle、目視佈酸狀況不均勻，得到 NU47%。

Case 2：以低轉速 60 rpm，Stream Nozzle、改善佈酸；調整擺動位置與停留時間；得到 NU 24%。

Case 3：以轉速 100 rpm，Stream Nozzle、得到 NU 25%。

配方 U% 量測結果

No	Time	Speed	Acc	Arm Recipe	Media	前值	後值	E/R
1	15.0	200	500	**Center**	[TSR]	111359	14360	3001
2	1.0	200	500	**Center**		111497	13830	2333
3	20.0	200	500	150_swing_5	[CH21]	111428	14270	2842
4	30.0	300	500	**Center**	[TSR]	111553	14440	2887
5	1.0	300	500	**Center**		111500	14300	2800
6	0.3	600	500	**Center**	[CH12]	111476	14310	2834
7	0.5	250	500	puddle_d_s 7000p	[CH12]	111399	14260	2861
8	1.7	30	500	150_pd_e_c_1	[CH12]	111392	14290	2898
9	57.5	60	500	150_swing_ex	[CH12]	111324	14330	3006
10	60.0	500	500	**Center**	[TSR]	Mean	11436	14266
11	120.0	1500	1000	**Home**		STD		199.1
12	5.0	0	2000	**Home**		1σ (%)		7.037
						Max		3006
						Min		2333
						U%		47.58

配方 U% 量測結果

No	Time	Speed	Acc	Arm Recipe	Media	前值	後值	E/R
1	15.0	200	500	**Center**	[TSR]	10325	13330	3005
2	1.0	200	500	**Center**		10386	13460	3104
3	20.0	200	500	150_swing_5	[CH21]	10222	13300	3078
4	30.0	300	500	**Center**	[TSR]	10068	13310	3042
5	1.0	300	500	**Center**		10304	13070	2766
6	0.3	600	500	**Center**	[CH12]	10395	13440	3045
7	0.5	250	500	puddle_d_s 7000p	[CH12]	10201	13330	3129
8	1.7	30	500	150_pd_e_c_1	[CH12]	10204	13260	3056
9	57.5	60	500	150_swing_ex	[CH12]	10196	13150	2954
10	60.0	500	500	**Center**	[TSR]	Mean	10274.56	13094.44
11	120.0	1500	1000	**Home**		STD		103.889
12	5.0	0	2000	**Home**		1σ (%)		3.85685
						Max		3129
						Min		2766
						U%		24.04062

配方 U% 量測結果

No	Time	Speed	Acc	Arm Recipe	Media	前值	後值	E/R
1	15.0	200	500	**Center**	[TSR]	13330	15620	2290
2	1.0	200	500	**Center**		13460	15900	2440
3	20.0	200	500	150_swing_5	[CH21]	13300	15900	2600
4	30.0	300	500	**Center**	[TSR]	13310	15810	2500
5	1.0	300	500	**Center**		13070	15310	2440
6	0.3	600	500	**Center**	[CH12]	13440	15950	2510
7	0.5	250	500	puddle_d_s 7000p	[CH12]	13330	15830	2500
8	1.7	30	500	150_pd_e_c_1	[CH12]	13260	15650	2390
9	57.5	60	500	150_swing_ex	[CH12]	13150	15720	2570
10	60.0	500	500	**Center**	[TSR]	Mean	13294.44	15705.56
11	120.0	1500	1000	**Home**		STD		2471.111
12	5.0	0	2000	**Home**		1σ (%)		94.13347
						Max		3809.558
						Min		2290
						U%		25.08993

B. Flowrate : 750 cc/min，為 Case 4 & 7：

Case 4：以低轉速 100 rpm，Spray Nozzle 得到 NU 18%。

Case 7：以轉速 200 rpm，Spray Nozzle 得到 NU 12%。

配方

U% 量測結果

Case 4

No	Time	Speed	Acc	Arm Recipe	Media	前值	後值	E/R	
1	15.0	200	500	"Center"	[TSR]	18000	20950	2590	
2	1.0	200	500	"Center"		18420	20950	2530	
3	20.0	200	500	150_swing_5	[CH21]	18110	20710	2600	
4	30.0	500	500	"Center"	[TSR]	18400	21000	2620	
5	1.0	500	500	"StartEdge"		18090	20830	2740	
6	60.0	10	500	"StartEdge"	[CH12]	18230	20860	2630	
7	60.0	500	500	"Center"	[TSR]	18190	20820	2620	
8	60.0	2200	1000	"Home"		18260	20720	2500	
9	5.0	0	2000	"Home"		18010	20660	2650	
						Mean	18185.56	20795.56	2610
						STD		69.26203	
						1σ (%)		2.654484	
						Max		2740	
						Min		2500	
						U%		18.3908	

配方

U% 量測結果

Case 7

No	Time	Speed	Acc	Arm Recipe	Media	1	23730	26350	2620
1	15.0	200	500	"Center"	[TSR]	2	23900	26490	2590
2	1.0	200	500	"Center"		3	23750	26360	2610
3	20.0	200	500	150_swings_6	[CH21]	4	23810	26360	2550
4	30.0	500	500	"Center"	[TSR]	5	23730	26290	2560
5	1.0	200	500	puddle_d_s 5000p		6	23980	26560	2580
6	0.3	200	500	puddle_d_s 5000p	[CH12]	7	23710	26170	2460
7	59.7	200	500	spray test_8000	[CH12]	8	23660	26160	2500
8	60.0	500	500	"Center"	[TSR]	9	23490	26060	2570
9	10.0	2500	500	"Home"		Mean	23751.11	26311.11	2560
10	60.0	2500	1000	"Home"		STD			51.47815
11	5.0	0	2000	"Home"		1σ (%)			2.010865
						Max			2620
						Min			2460
						U%			12.5

配方

U% 量測結果

Case 9

No	Time	Speed	Acc	Arm Recipe	Media	前值	後值	E/R	
1	15.0	200	500	"Center"	[TSR]	19070	22250	3180	
2	1.0	200	500	"Center"		219180	22330	3150	
3	20.0	200	500	150_swing_6	[CH21]	319090	22170	3080	
4	30.0	500	500	"Center"		419040	22200	3160	
5	0.1	300	500	"Center"		518550	21580	3030	
6	1.0	300	500	"Center"		619000	22160	3160	
7	59.0	300	500	150_swing_ex_2	[CH12]	719100	22100	3000	
8	1.0	800	500	"Center"	[TSR]	818830	21860	3030	
9	60.0	800	500	150_swing_6	[TSR]	918920	22000	3100	
10	60.0	2200	1000	"Home"		Mean	18975.56	22074.44	3068.89
11	5.0	0	2000	"Home"		STD		67.30066	
						1σ (%)		2.173381	
						Max		3180	
						Min		3000	
						U%		11.61707	

配方

U% 量測結果

Case 11

No	Time	Speed	Acc	Arm Recipe	Media	前值	後值	E/R
1	15.0	300	500	"Center"	[TSR]	9440	11600	2160
2	1.0	300	500	"Center"		9286	11580	2294
3	20.0	300	500	150_swings_5	[CH21]	9433	11620	2187
4	30.0	500	500	"Center"	[TSR]	9457	11780	2444
5	0.1	300	500	"Center"		9517	11780	2263
6	2.0	600	500	"Center"		9444	11810	2466
7	49.0	600	500	150_swings_7_0321	[CH12]	9356	11720	2374
8	1.0	800	500	"Center"	[TSR]	9304	11700	2396
9	60.0	800	500	150_swings_5	[TSR]	9301	11670	2369
10	60.0	2200	1000	"Home"		9393.111	11696.67	2303.556
11	5.0	0	2000	"Home"				85.14563
								2466
								2160
								20.49006

配方

U% 量測結果

Case 12

No	Time	Speed	Acc	Arm Recipe	Media		前值	後值	E/R
1	5.0	300	500	"Center"	[TSR]	1	22380	25750	3370
2	10.0	300	500	150_swings_5	[TSR]	2	22520	25860	3340
3	1.0	300	500	"Center"		3	22400	25750	3350
4	20.0	300	500	150_swings_5	[CH21]	4	22510	25770	3360
5	5.0	500	500	"Center"	[TSR]	5	22070	25250	3180
6	25.0	500	500	150_swings_5	[TSR]	6	22440	25790	3366
7	0.1	300	500	"Center"		7	22200	25590	3300
8	9.0	600	500	"Center"		8	22240	25560	3320
9	19.4	600	500	150_swings_8	[CH12]	9	22320	25660	3340
10	21.8	-600	500	150_swings_8	[CH12]	Mean	22352.22	25664.44	3312.222
11	2.0	-800	500	"Center"		STD			59.32491
12	58.0	-800	500	150_swings_5	[TSR]	1σ (%)			2.679091
13	60.0	-2200	1000	"Home"		Max			3370
14	5.0	0	2000	"Home"		Min			3180
						U%			11.47266

配方

U% 量測結果

Case 16

No	Time	Speed	Acc	Arm Recipe	Media		前値	後値	E/R
1	5.0	800	500	"Center"	[TSR]	1	11770	14735	3035
2	10.0	800	500	150_swings_5	[TSR]	2	11795	14839	3044
3	1.0	300	500	"Center"		3	11804	14933	3129
4	20.0	300	500	150_swings_5	[CH21]	4	11837	14939	3102
5	5.0	500	500	"Center"	[TSR]	5	11820	14999	3079
6	25.0	500	500	150_swings_5	[TSR]	6	11819	14969	3150
7	1.0	300	500	"Center"		7	11914	15048	3134
8	14.5	600	500	nozzle 12 center	[CH12]	8	11898	15008	3110
9	14.5	-600	500	nozzle 12 center	[CH12]	9	11966	15026	3060
10	14.5	600	500	nozzle 12 center	[CH12]	Mean	11899.22	14932.89	3093.667
11	14.5	-600	500	nozzle 12 center	[CH12]	STD		41.29467	
12	2.0	-800	500	"Center"	[TSR]	1σ (%)		3.44613	
13	58.0	-800	500	150_swings_5	[TSR]	Max		3150	
14	60.0	-2200	1000	"Home"		Min		3035	
15	5.0	0	2000	"Home"		U%		7.54344	

C. Flowrate : 300 cc/min 如 Case 9 :

Case 9 : 以較高轉速 300 rpm , Stream Nozzle 得到 NU 11% 。

D. Flowrate : 800 cc/min , 有 Case 11 、 12 、 16 :

Case 11 : 以轉速 600 rpm , Stream Nozzle 得到 NU 20% , 若排除中心點第五點偏低之 E/R 2263Å , 其餘外圍八點 E/R 最大值 2396Å , 最小值為 2160Å , 其差異達 236Å (NU 的分子越大, 如公式(1)) 。

Case 12 : 以轉速 600 rpm 與正反轉 , Stream Nozzle 得到 NU 11% , Media Dispense 偏心 20mm 位置, 得中心點偏低, 若排除中心點偏低之 E/R 3180Å , 其餘外圍八點 E/R 最大值 3370Å , 最小值為 3260Å , 其差異縮小至 110Å 。

Case 16 : 以轉速 600 rpm 與正反轉 , Stream Nozzle 及改 Media Dispense 至無偏心位置得到 NU 7% (此時最大值與最小值差異為 115Å) 。

Wafer-to-Wafer 均勻度之實驗 : (量測 64 點)

其實驗參數、配方與 Within Wafer Case12~18 相同, Uniformity 如下表三所示 :

表三 : Wafer-to-Wafer 實驗參數表

	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
Mean	2536.2	2554.0	2528.9	2493.3	2503.6	2550.7
STD	60.1	54.3	37.2	34.9	87.4	62.0
1 σ (%)	2.4	2.1	1.5	1.4	3.5	2.4
Max	2718.7	2814.4	2674.9	2571.9	2695.9	2729.8
Min	2464.7	2470.8	2466.5	2406.6	2219.2	2416.5
U%	20.0	26.9	16.5	13.3	38.1	24.6

1. #2、3、5&6 量測有 3~5 點無量測值, 上表列示 U% 為剔除該值後所得結果。
2. U% 分佈普遍較 Within Wafer 5~12% 高, 64 點較 9 點量測樣本數增加六倍, 累積誤差將造成影響, 若以 #1 & #4 而論 U% 分佈為 13~20% 。

結論

Media Dispense 與正反轉

Media Dispense 與旋轉平臺正反轉影響均勻度

Case 11 未施加正反轉並將 Media Dispense 先放中心噴酸 2 Sec , 後擺盪至蝕刻結束; 擺盪範圍跨越整片 6" Wafer , 結果 Wafer 外圍八點之最大值為 2396Å , 最小值為 2160Å , 其 E/R 差異 236Å (Case11 最右側 E/R 欄位, 1~9 點最大值與最小值之差) 。

Case 12 施加正反轉並將 Media Dispense 先放中心噴酸 2 Sec , 後擺盪至蝕刻結束; 擺盪範圍縮小至約 1/4 片 6" Wafer , 結果 Wafer 外圍八點之最大值為 3370Å , 最小值為 3260Å , 其差異減少至 110Å (扣除中心第五點) 。詳細 Case11 & Case12 實驗數值如表四。

表四：Case11 & Case12 實驗數值

Case 11			Case 12		
前值	後值	E/R		前值	後值 E/R
9440	11600	2160	1	22380	25750 3370
9286	11580	2294	2	22520	25860 3340
9433	11620	2187	3	22400	25750 3350
9457	11780	2323	4	22510	25770 3260
9517	11780	2263	5	22070	25250 3180
9444	11810	2366	6	22440	25790 3350
9356	11730	2374	7	22290	25590 3300
9304	11700	2396	8	22240	25560 3320
9301	11670	2369	9	22320	25660 3340
9393.111	11696.67	2303.556	Mean	22352.22	25664.44 3312.222
		85.14563	STD		59.32491
		3.69627	1σ (%)		1.791091
		2396	Max		3370
		2160	Min		3180
		20.49006	U%		11.47266

表五：Case 25&26 和 Case 29&30 實驗數值

Case 25&26/噴嘴偏距中心20mm Case 29&30 / 噴嘴置中心

	前值	後值	E/R	前值	後值	E/R		前值	後值	E/R	前值	後值	E/R
1	9334	11700	2366	12627	14850	2223	1	14735	17560	2625	17837	20638	2801
2	9239	11755	2496	12537	14944	2407	2	14839	17641	2802	17964	20742	2778
3	9420	11804	2384	12760	15024	2264	3	14933	17755	2822	18088	20886	2798
4	9476	11837	2361	12701	15043	2342	4	14939	17757	2818	18103	20894	2791
5	9432	11820	2388	12657	14999	2342	5	14999	17704	2805	18034	20819	2785
6	9544	11819	2275	12746	15082	2336	6	14969	17825	2856	18127	20919	2792
7	9472	11914	2442	12789	15159	2370	7	15048	17853	2805	18272	21115	2843
8	9443	11888	2455	12692	15022	2330	8	15008	17786	2778	18069	20877	2808
9	9593	11966	2373	12645	15028	2383	9	15036	17772	2746	18003	20776	2773
Mean	9445.889	11839.22	2393.333	12683.78	15016.78	2333	Mean	14932.89	17739.22	2806.333	18055.22	20851.78	2796.556
STD			64.26119			57.43039	STD			30.94754			20.598
1σ (%)			2.685038			2.461654	1σ (%)			1.102775			0.736549
Max			2496			2407	Max			2856			2843
Min			2275			2223	Min			2746			2773
U%			18.46797			15.77368	U%			7.83411			5.006158

此外 Nozzle 噴酸位置與 Wafer 中心相對位置差異也造成均勻度差異約 10~12%；Case 25&26 為噴嘴偏距中心 20mm 時均勻度 15~18%；而 Case 29&30 噴嘴位於中心，得較好均勻度(擺臂靜止時)5~7%。Case 25&26 和 Case 29&30 之詳細實驗數值如表五所示。

Stream Nozzle 與 Spray Nozzle 比較，如實驗章節噴嘴區分所述：在本應用中 Stream Nozzle 可得到較好的均勻度(如表二之 Case1~3 與 Case 8 之後，最佳均勻度 5%) (Spray Nozzle 如表二之 Case 4~7，最佳均勻度 12%)。

流量

相同轉速、Media Dispense 情況；僅變動流量 300 cc 與 800 cc 得到均勻度 20% 與 12%，顯然足夠流量可得較好均勻度。於本實驗中約 800 cc/min 流量配合 600 rpm 轉速較適當。

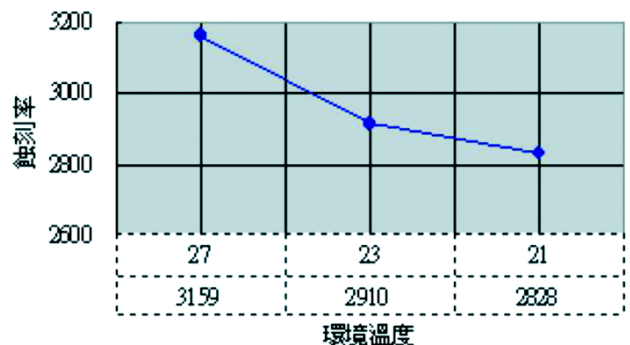
溫度

蝕刻液溫度

蝕刻液溫度對蝕刻率影響如文獻 #1 中所述；當 NH4OH 濃度達到一特定足夠值後，主酸對 GaAs 蝕刻率趨近方程式，其中 $\ln k$ 與 $1/T$ 如 Arrhenius' 方程式呈線性反比關係。

環境溫度

環境溫度對蝕刻率影響



另外一個對量產蝕刻率穩定關鍵因素為環境溫度：

環境溫度 27°C 相對環境溫度 21°C 時，溫差 6°C：GaAs 蝕刻率相差 11% 之顯著影響；

若環境溫度 23°C 相對環境溫度 21°C 時，溫差 2°C：GaAs 蝕刻率相差 2.8% 之影響；詳如下表。

總結

旋轉平臺正反轉可得到外圈較低之差異值，得到較好均勻度；若亦配合噴嘴置於中心可得較佳均勻度，且若配合精準之化學藥品溫度、流量控制，以旋轉式平臺濕蝕刻 GaAs，均勻度分佈可達到 5~10%。

SST-AP/Taiwan

參考文獻

1. Christine Bryce and Dimitrios Berk, "Kinetics of GaAs Dissolution in H2O2-NH4OH-H2O Solutions," Ind. Eng. Chem. Res. 1996, 35, 4464-4470.

作者

王志成(Kevin Wang)：弘塑科技公司(Grand Plastic Technology Corporation; GPTC)市場與技術部工程師，畢業於中興大學化學所。

王家康(Jonathan Wang)：弘塑科技公司(Grand Plastic Technology Corporation; GPTC)市場與技術部工程師，畢業於交通大學機械所。Tel:(03)5972353 ext:206. e-mail:jonathan_wang@gptc.com.tw。

詹印豐(Jesse Chan)：弘塑科技公司(Grand Plastic Technology Corporation; GPTC)總經理，臺灣工業技術學院電子系學士，美國密蘇里州立大學哥倫比亞校區 MSEE。