



成大核心設施中心
Core Facility Center, NCKU

儀器設備技術手冊與 訓練教材

1208 感應耦合式高密度電漿蝕刻機

撰寫人：陳子欣

2025 年 07 月 03 日

目錄

1、前言簡介.....	4
2、背景與知識原理.....	5
2-1、蝕刻介紹.....	5
2-2、乾蝕刻（離子輔助性蝕刻）反應機制.....	6
2-3、蝕刻氣體的選擇.....	7
2-5、乾蝕刻效能的要求.....	8
2-5、乾蝕刻機的種類.....	11
3、機台介紹.....	13
3-1、機台構造介紹.....	13
3-2、機台規格.....	16
3-3、Sample 種類要求及限制.....	16
3-4、蝕刻參數設定.....	16
3-5、ICP 蝕刻參數對蝕刻效率之影響.....	17
3-6、蝕刻氣體之用途.....	19
3-7、本儀器破片尺寸(<2cm*2cm)常見蝕刻材料，蝕刻率之參考.....	20
3-8、蝕刻案例.....	21
3-9、蝕刻率監測.....	22
3-10、操作流程.....	23
4、其他.....	39
4-1、安全議題.....	39
5、附件資料.....	41

圖目錄

圖 2-1.濕蝕刻示意圖.....	6
圖 2-2.乾蝕刻示意圖.....	6
圖 2-3.乾蝕刻反應機制.....	6
圖 2-4. 乾蝕刻反應.....	7
圖 2-5. 蝕刻速率之算法.....	9
圖 2-6. 蝕刻選擇比之算法.....	9
圖 2-7. RIE 內部構造.....	11
圖 2-8. 離子在離子鞘層中的散射行為.....	11
圖 2-9. ICP 內部構造.....	12
圖 3-1. ICP 機台機構介紹.....	13
圖 3-2. ICP 內部構造.....	14
圖 3-3.機台設備內部結構.....	15
圖 3-4. 蝕刻參數編輯頁面.....	16
圖 3-5. 所示蝕刻率隨 ICP power 成正比增加.....	17
圖 3-6.RF power 與蝕刻率之關係.....	18
圖 3-7. RF power 與蝕刻率/選擇比之關係.....	18
圖 3-8. 使用氯系列氣體蝕刻 VCSEL 元件，其流量與選擇比/蝕刻率相關性之趨勢圖.....	18
圖 3-9. 蝕刻參數對蝕刻輪廓之影響.....	19
圖 3-10. 近三年蝕刻案例.....	21
圖 3-11. 200nm Al 金屬線蝕刻($\text{Cl}_2/\text{BCl}_3/\text{Ar}$)	21
圖 3-12 奈米壓印殘膠去除，線寬 $<100\text{nm}$ (O_2)	21
圖 3-13 連續三個月蝕刻率監測.....	21
圖 3-14 表面粗度儀測量蝕刻深度.....	22
圖 4-1.機台安全系統配置圖.....	46

1、前言簡介

金屬蝕刻系統(感應耦合電漿離子蝕刻機)是以氯氣電漿 (Chlorine-based) 為基礎的乾蝕刻系統，主要使用的氣體為 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、Ar、 O_2 和 CHF_3 ，適合 III-V 及金屬材料蝕刻。

(1) 廠牌型號

日商 Samco/RIE-101iPH

(台灣分公司業務:蔡明峰 e-mail: tsai@samco.co.jp)

(2) 規格：

- 氣體： Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、Ar、 O_2 和 CHF_3
- 試片尺寸：破片 ~ up to 4" wafer
- 蝕刻材料：III-V 及金屬材料或矽化物
- RF 最大功率：1KW(Source) / 300W(Stage)

(3) 用途:

- 矽化膜的非等向性蝕刻
- 金屬膜的蝕刻
- GaN、GaAs、InP 和其他化合物半導體的蝕刻
- 波導裝置的製造
- MEMS 結構製造
- 介電材料的高速蝕刻（石英、藍寶石）

(4) 特徵:

- 最大可處理 4 英吋晶圓
- 可製造出高密度電漿
- 可使用氟系和氯系反應氣體
- 獨特的腔室設計允許各種材料的蝕刻
- 使用靜電吸盤和氮氣冷卻
- 金屬蝕刻功能組可重複蝕刻金屬
- 小體積和全功能的設計

(5) 周邊設施以及配件:

機台本體、六條氣體管路、冷卻循環系統、Turbo Molecular Pump、Load Lock Chamber、Evacuation pump

(6) 機台位置

儀器設備大樓 B1 無塵室

2、背景知識與原理

2-1 蝕刻介紹^[1]

蝕刻是將材料使用化學反應或物理撞擊作用而移除的技術，蝕刻技術可以分為濕蝕刻(Wet etching)及乾蝕刻(Dry etching)兩類。

濕蝕刻(Wet etching)

濕蝕刻是將晶片浸沒於適當的化學溶液中，或將化學溶劑噴灑至晶片上，經由溶液與被蝕刻物間的化學反應，來移除薄膜表面的原子，以達到蝕刻的目的。濕蝕刻三步驟為擴散→反應→擴散出。

濕蝕刻進行時，溶液中的反應物首先經由擴散通過停滯的邊界層(boundary layer)，方能到達晶片的表面，並且發生化學反應與產生各種生成物。蝕刻的化學反應的生成物為液相或氣相的生成物，這些生成物再藉由擴散通過邊界層，而溶入主溶液中。

就濕蝕刻作用而言，對一種特定被蝕刻材料，通常可以找到一種可快速有效蝕刻，而且不致蝕刻其它材料的蝕刻劑，因此，通常濕蝕刻對不同材料會具有相當高的選擇性。然而，除了結晶方向可能影響蝕刻速率外，由於化學反應並不會對特定方向有任何的偏好，因此濕蝕刻本質上乃是一種等向性蝕刻(Isotropic etching)。等向性蝕刻意味著，濕蝕刻不但會在縱向進行蝕刻，而且也會有橫向的蝕刻效果。橫向蝕刻會導致所謂底切(Undercut)的現象發生，使得圖形無法精確轉移至晶片，尤其在小於5微米以下的製程更會發生倒線的狀況，因此在半導體製程中對於精密圖形的蝕刻通常不會採用濕蝕刻製程而會採用乾蝕刻製程。

乾蝕刻(Dry Etching)

乾蝕刻為電漿蝕刻，電漿是一種部分解離的氣體，氣體分子被解離成電子、離子，以及其它具有高化學活性的自由基(Radical)，在電漿中蝕刻的作用，可能是電漿中離子撞擊晶片表面的物理作用，或者可能是電漿中活性自由基(Radical)與晶片表面原子間的化學反應，甚至也可能是這兩者的複合作用，可分為三大類：

- 一、物理性蝕刻：(1) 濺擊蝕刻 (2) 離子束蝕刻 (蝕刻方向控制佳，蝕刻速率慢)
- 二、化學性蝕刻：電漿蝕刻 (蝕刻方向控制不佳)
- 三、物理、化學複合蝕刻：離子輔助性蝕刻 (蝕刻方向控制佳，蝕刻速率適中)

在半導體製程中常被使用的乾蝕刻技術是指第三類的離子輔助性蝕刻，結合物理與化學性蝕刻之優勢，可得到的非等向性蝕刻(Anisotropic Etching)的效果，也能有適中的蝕刻速率，但相比於濕蝕刻其較選擇性較差。這是因為乾蝕刻的蝕刻機制是一種化學與物理交互作用，離子的撞擊不但可以移除被蝕刻的薄膜，也同時會移除蝕刻保護層，造成選擇比降低。下面對於乾蝕刻中的離子輔助性蝕刻機制做說明。

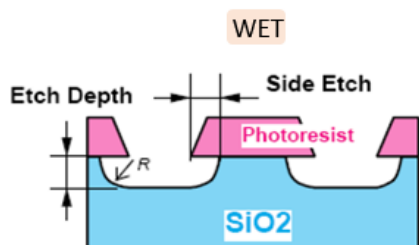


圖 2-1、濕蝕刻示意圖。

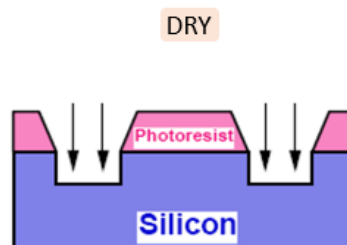


圖 2-2、乾蝕刻示意圖。

2-2 乾蝕刻（離子輔助性蝕刻）反應機制^{[2][9]}

乾蝕刻的反應順序為，氣體通入製程腔體中解離產生電漿，電漿裡的成分為氣體產生的活性自由基(Active Radical)、帶正電離子、電子以及氣體分子。自由基(Radical)將透過擴散的方式到達晶圓的表面產生化學反應，反應後的生成物通常具有可揮發性，能被真空幫浦所帶走，正離子由於自我偏壓或外加偏壓的作用，能夠對晶圓表面進行轟擊，一是造成蝕刻物質表面的原子鍵結發生破壞，增加垂直方向反應的蝕刻速率，二是將反應物生成物或聚合物(Polymer)打掉蝕刻方可繼續進行，透過這樣離子輔助的蝕刻可以達到非等向性的效果。乾蝕刻機制如下圖三。

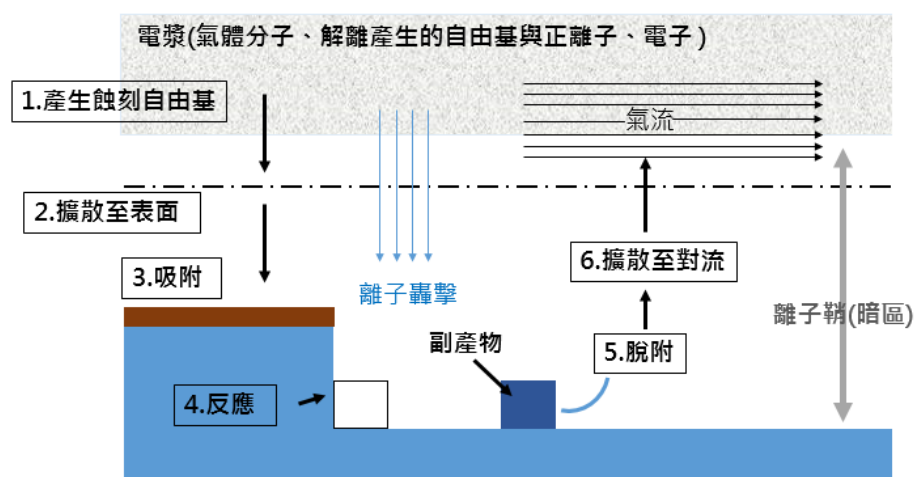


圖 2-3、乾蝕刻反應機制

但在實際上影響蝕刻的結果卻是透過反應氣體與離子之間複雜的物理與化學交互作用所構成，如圖四。要完成蝕刻製程大致可分為四個項目

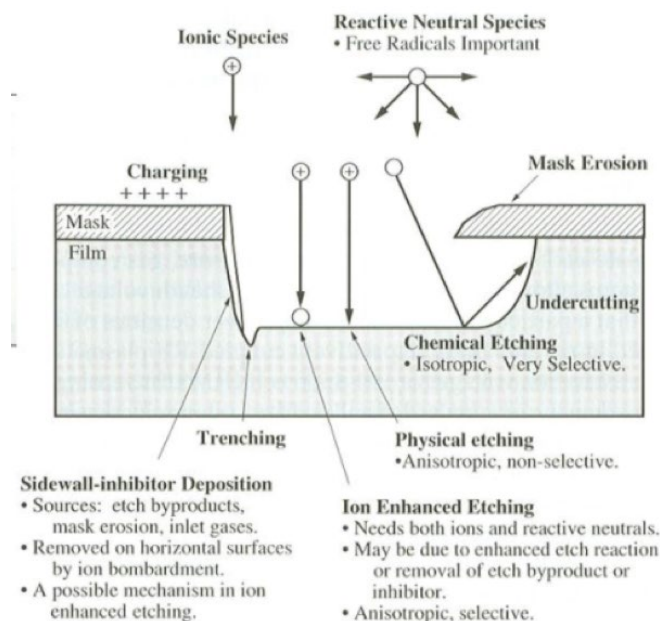


圖 2-4、乾蝕刻反應^[2]

- (1) 自由基(Radical)反應：屬於化學反應，以反應生成物的揮發性作為蝕刻氣體的選擇。
- (2) 離子轟擊(Ion bombardment)反應：透過離子轟擊可對蝕刻材料表面的鍵結造成破壞，加速蝕刻反應的速率，由於是垂直性的轟擊，有非等向性的效果，另外離子轟擊也能濺擊蝕刻後的反應生成物，加速反應生成物被帶走的速率。
- (3) 側壁保護的形成：側壁保護的成因可能為蝕刻氣體解離的單體所沈積，或是蝕刻氣體與蝕刻阻擋層反應後的沈積物，也可由反應生成物沈積而來。透過正離子的轟擊於垂直方向上的保護層可被移除，而側壁則形成保護層，造成非等向性的效果。^[4]
- (4) 生成物殘留的排除：反應生成物是否容易被帶走深深影響蝕刻效果，與選用的蝕刻反應氣體、離子轟擊的狀態、製程溫度息息相關。

2-3 蝕刻氣體的選擇

蝕刻氣體的選擇需看蝕刻後的反應生成物是否具備良好的揮發性，能被真空系統帶走，蝕刻氣體可分為氟(F)、氯氣(Cl)、溴化氫(Br)三種系列的氣體，（表一）為材料其鹵化物的沸點，其中矽(Si)及鎢(W)的氟化物比氯化物容易揮發帶走，意味著選用氟系氣體作為蝕刻氣體比氯系氣體蝕刻率來的快。而鋁(Al)的蝕刻，其氟化物氯化溫度低，反應生成物無法離開表面不產生有效蝕刻，而氯化物的氯化溫度則低很多，因此需要用氯系氣體去蝕

刻。根據反應物生成物的揮發性，在 III-V 材料及部分金屬材料的蝕刻會選擇含有氯氣成分的氣體，降低反應生成物的氯化溫度至攝氏 300 度以下，因此能達成蝕刻反應。表二為常見的蝕刻材料其建議使用的蝕刻氣體。

表一、蝕刻材料其鹵化物之沸點參考表^[3]

Table 1

Halogen-, hydride- and methyl-compounds and their volatility for elements and materials of interest in micro- and nano-technology applications

Elements	Fluorides	Boiling temperature (°C)	Chlorides	Boiling temperature (°C)	Bromides	Boiling temperature (°C)	Hydrides, trimethyls	Boiling temperature (°C)
Al	AlF ₃	1297 (subl.)	AlCl ₃	178 (subl.)	AlBr ₃	263		
As	AsF ₃	−63	AsCl ₃	130.2	AsBr ₃	221	AsH ₃	−55
	AsF ₅	−53			AsBr ₅			
C	CF ₄	−128	CCl ₄	77	CBr ₄	189	CH ₄	−164
Cr	CrF ₂	> 1300	CrO ₂ Cl ₂	117	CrBr ₂	842		
Cu	CuF	1100 (subl.)	CuCl	1490	CuBr	1345		
	CuF ₂	950	CuCl ₂	993			CuH	55–60
Ga	GaF ₃	1000	GaCl ₃	201.3	GaBr ₃	278.8	Ga(CH ₃) ₃	134
Ge	GeF ₄	−37 (subl.)	GeCl ₄	84	GeBr ₄	186.5	GeH ₄	−88.5
In	InF ₃	> 1200	InCl ₃	300 (subl.)			In(CH ₃) ₃	55.7
Mo	MoF ₅	213.6	MoCl ₅	268				
	MoF ₆	35	MoOCl ₃	100 (subl.)				
	MoO ₃ F ₂	270 (subl.)						
	MoOF ₄	180						
P	PF ₃	−101.5	PCl ₃	75	PBr ₃	172.9	PH ₃	−87.7
	PF ₅	−75	PCl ₅	162 (subl.)	PBr ₅	106		
Si	SiF ₄	−86	SiCl ₄	57.6	SiBr ₄	154	SiH ₄	−111.8
Ta	TaF ₅	229.5	TaCl ₅	242	TaBr ₅	348.8		
Ti	TiF ₄	284 (subl.)	TiCl ₄	136.4	TiBr ₄	230		
W	WF ₆	17.5	WCl ₆	346.7				
	WOF ₄	187.5	WCl ₅	275.6	WBr ₅	333		
			WOCl ₄	227.5	WBr ₄	327		

表二、蝕刻材料與建議使用的蝕刻氣體

Solid	Etch Gas	Etch Product
Si, SiO ₂ , Si ₃ N ₄	CF ₄ , SF ₆ , NF ₃	SiF ₄
Si	Cl ₂ , CCl ₂ F ₂	SiCl ₂ , SiCl ₄
Al	BCl ₃ , CCl ₄ , Cl ₂	Al ₂ Cl ₆ , AlCl ₃
Organic Solids (photoresists, etc)	O ₂ O ₂ +CF ₄	CO, CO ₂ , H ₂ O CO, CO ₂ , HF
Refractory Metals (W, Ta, Nb, Mo ...)	CF ₄ Cl ₂	WF ₆ ... WCl ₆
III-V GaAs, InP	Cl ₂ , CCl ₂ F ₂ CH ₄ /H ₂	GaCl ₃ , AsCl ₅ PH ₃ , In(CH ₃) ₃

2-4 乾蝕刻效能的要求

(1) 計算蝕刻速率 Etch rate(ER)

計算目標材料的蝕刻速率，需將蝕刻前後深度的落差除以時間即可得到蝕刻率。

對於量測深度的方式可用非破壞性之檢測儀器如表面粗度儀、原子力顯微鏡 (Atomic Force Microscope, 簡稱 AFM) 或是破壞性檢測如掃描電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscope, 簡稱 SEM)、聚焦離子束顯微鏡 (Focused Ion Beam, 簡稱 FIB) 等方式得到。

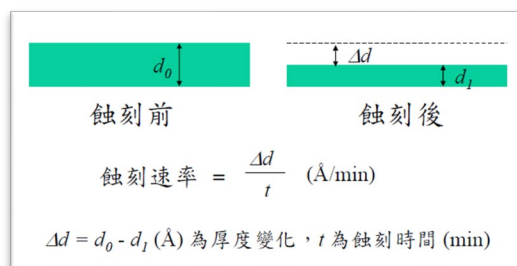


圖 2-5、蝕刻速率之計算

(2)蝕刻選擇比_ Etch selectivity(S)

我們可以透過計算兩個材料蝕刻率的比值得到選擇比(如圖六),常見的蝕刻阻擋層為光阻或是硬遮罩(Hard mask)材料(例如:Cr、SiO₂、SiN_x),要選擇使用何種材料來做為蝕刻阻擋層,就需要看蝕刻選擇比是否足夠抵擋蝕刻。

一般常使用的蝕刻阻擋層為光阻,其優點是前製程較為簡單,只要透過黃光或電子束微影(Electron beam lithography)的方式就可以得到阻擋層圖案,缺點是光阻的選擇比較小(<10),以及曝出來的圖案品質如有傾斜形貌,則會轉移到下方的蝕刻材料,造成蝕刻垂直性不佳。以矽(Si)來說 10 微米以上的蝕刻,通常都會建議使用鉻(Cr)做為蝕刻阻擋層,在使用氟系氣體的情況下,矽(Si)對鉻(Cr)選擇比可大於 100。而三五族蝕刻常見的阻擋層為厚光阻(AZ4620)、SiO₂、Ni,影響選擇比的因素非常多,選用的氣體與製程功率、試片與線寬的大小都深切影響選擇比,需在蝕刻製程進行時測得選擇比,確保樣品的成功率。

另外在蝕刻參數上的設定也會計算蝕刻材料與底材的選擇比,通常是希望選擇比越大越好,才不產生過蝕(Over etch)嚴重的狀況,而輔助蝕刻氣體的加入可影響選擇比,在半導體中蝕刻材料與底層的選擇比就非常重要,例如在蝕刻閘極多晶矽(Poly-Si)時不希望蝕刻到底下的閘極氧化層,因此希望拉高 Si/SiO₂ 的選擇比,可在蝕刻中添加 O₂ 抑制吃 SiO₂ 的蝕刻率增加選擇比,相反想增加 SiO₂/Si 的選擇比,則可通 H 降低 Si 的蝕刻率,或是使用 CHF₃ 吃 SiO₂ 的速率會比 Si 來的快。[4]

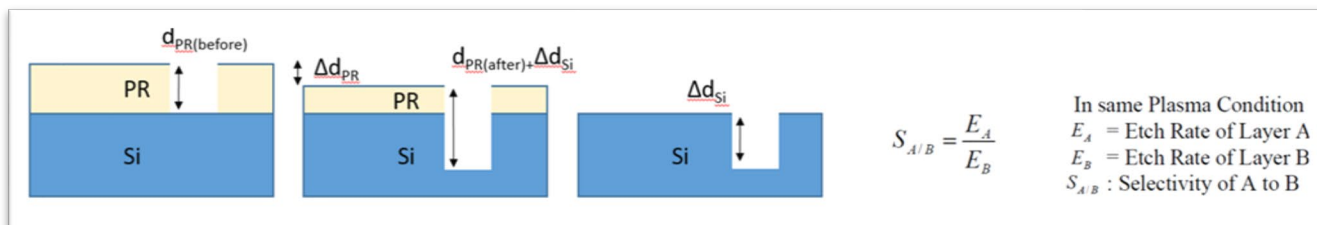


圖 2-6、蝕刻選擇比之算法

(3)蝕刻輪廓 Etched profile (透過 FIB、TEM、SEM 斷面確認)

乾蝕刻的形貌要求，往往需要高度的垂直性與光滑的側壁，對於垂直性的實現有幾個項目可做為參數上的調整：

A. 增加離子輔助反應：

增加下電極功率，可增加解離之正離子的能量，或於製程氣體中添加 Ar，增加離子濃度，可增進垂直方向的蝕刻反應與增加反應物生成物被帶走的速率。

B. 較低的壓力：

平均路徑較長，減少離子散射行為，易於蝕刻劑達到薄膜且易於將副產物移除出來。

C. 側壁保護過程：

在蝕刻氣體當中添加聚合物形成用氣體，容易解離產生 CF、CF₂ 的聚合物，吸附在被蝕刻面形成保護層，由於離子垂直入射，保護層可作為側壁保護。形成聚合物的單體可由蝕刻氣體本身解離而成，例如 CF 系列之氣體，也可藉由光阻被蝕刻而生成，例如以氟系氣體蝕刻鋁(Al)時，光阻被蝕刻而有 C、H，被提供後形成側壁保護膜，可得到非等向性之形狀。使用氟系氣體在蝕刻 Si 時可添加 O₂，生成的 SiO₂ 形成側壁保護膜，也可得到非等向性之形狀。

(4)深度均勻性 Uniformity

均勻性會跟流量、電漿的均勻性以及試片溫度相關。試片溫度影響蝕刻速率，對均勻性有直接影響，當基板的散熱性越好，溫度的均勻性也就越好，這也是蝕刻機多會選用 He 氣體做為冷卻與控制溫度介質的原因。流量大對於蝕刻均勻性也有幫助，電漿的均勻性，往往會跟各廠牌機台電漿源的設計息息相關，一般在機台驗收時會限制整片晶圓的均勻性需小於 $\pm 5\%$ 。

均勻性計算公式如下：

$$[U = (\text{最大蝕刻率} - \text{最小蝕刻率}) / (\text{最大蝕刻率} + \text{最小蝕刻率}) * 100\%]$$

(5)關鍵尺寸 Critical dimension(CD) control

蝕刻前後的線寬差異性(Offset)，會跟蝕刻出來的角度強相關，在小線寬的製程(<200nm) Offset 需要明確計算，並在電子束微影步驟做線寬補償修正。

2-5 乾蝕刻機的種類

依照產生的電漿密度，可分為反應式離子蝕刻機(RIE)與進階的低壓高密度電漿蝕刻機，包含電感耦合式電漿(ICP)、變壓耦合電漿(TCP)、電子迴旋共振式電漿(ECR)、螺旋微波電漿(HWP)，下面針對中心的機種 RIE 與 ICP 的原理做說明。

反應式離子蝕刻(Reactive Ion Etch, RIE)

RIE 機台內部的構造(圖七)，可分為上下兩個電極板，在下電極處安裝 13.6MHz 的功率產生器，可產生隨時間調變的電場，電子在電極中間產生高速來回撞擊，對通入的製程氣體產生一系列解離的反應，因而產生電漿，另外在下電極處還安置了電容器，由於電子質量輕會隨調變電場而移動，離子質量重幾乎不動，因此逐漸會在下電極處產生負電位，腔體因而形成自我偏壓，並在晶圓處形成負偏壓，帶正電的離子自電漿團中脫離，並在自我偏壓的加速下對晶圓進行轟擊。

離子在離子鞘層中的散射行為，對於蝕刻形貌的影響將會重要(如圖八)。一般會希望蝕刻的 profile 能有垂直的效果，離子在此區的散射能越少越好，透過一些方式可將散射減少，例如拉長離子的平均自由路徑(註一)，以及減短離子鞘的長度(註二)。給予越低壓的製程環境，氣體的壓力下降，分子數目減少，平均自由路徑就變長。對於離子鞘長度的控制，透過複雜運算可以發現當電漿濃度越高時所對應的離子鞘長度將會越短，發生散射的機率就越低。而進階機種高密度電漿蝕刻機，能提供高密度電漿以及更低壓的蝕刻條件，以達到高蝕刻速率以及更準直的蝕刻形狀。

單片式RIE系統示意圖

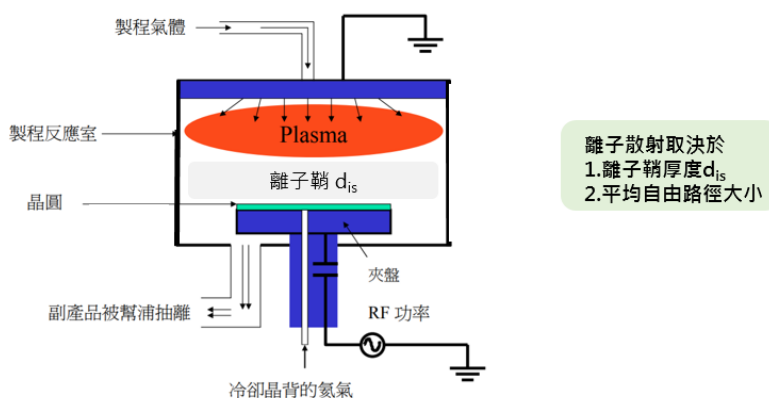


圖 2-7、 RIE 內部構造

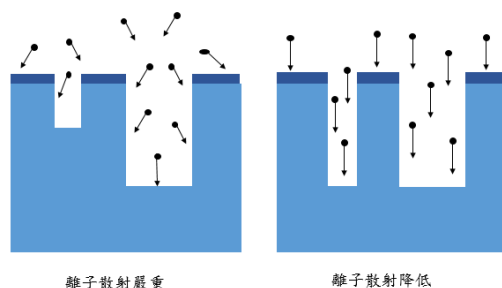


圖 2-8、 離子在離子鞘層中的散射行為，影響蝕刻形貌[4]

註一:平均自由路徑(粒子自碰撞後到下一次碰撞前能夠飛行的距離)

註二:離子鞘(暗區): 因為基板上電極所形成的負偏壓，使得電子被排斥，電子在電極附近形成幾乎不存在的狀態，此區域被稱為離子鞘也稱為暗區。

感應耦合式電漿(Inductively Coupled Plasma, ICP)

感應耦合型電漿(ICP)為高密度電漿蝕刻機，其好處是能在低壓的情況下產生高密度電漿，相較於反應離子蝕刻的腔體構造基本上相同，但前者於腔體上方多了感應線圈配備，當射頻電流通過線圈時，經由感應耦合會產生一個隨時間變化的迴旋型電場，使電子往迴旋方向加速，電子因迴旋而能移動很長的距離而不會撞到反應室腔壁或電極，自由電子因此能解離更多氣體分子，因此能在低壓狀態產生高密度電漿，ICP電漿密度約為RIE的 1000 倍。另外在晶圓載台的下方設置另一個功率產生器，其功能可施加附向偏壓，控制離子轟擊能量，吸引正離子轟擊晶圓表面，以達到良好的非等向性效果，這種用上電極感應線圈控制離子解離濃度，下電極控制離子轟擊能量的方法，使得蝕刻效果可達到極為優良的控制。

ICP系統示意圖

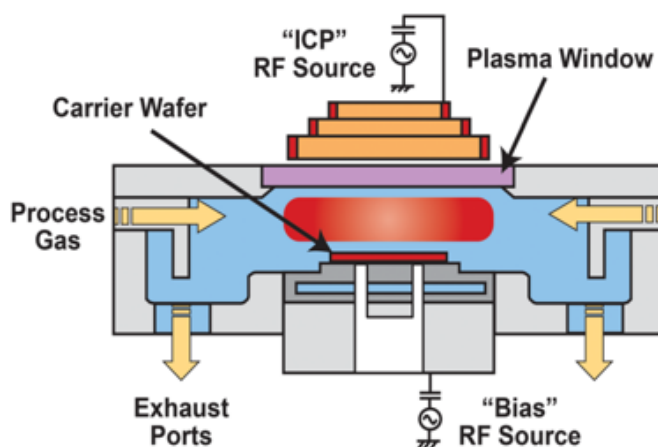


圖 2-9、ICP 內部構造 [Samco 官網]

3、機台介紹

3-1 機台構造介紹

本儀器 RIE-400i 為電感耦合式電漿蝕刻機(ICP)，是以氯氣電漿 (Chlorine-based) 為基礎的蝕刻系統，使用的氣體為 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、Ar、 O_2 、 N_2 和 CHF_3 ，主要用於 III-V 及金屬材料蝕刻。

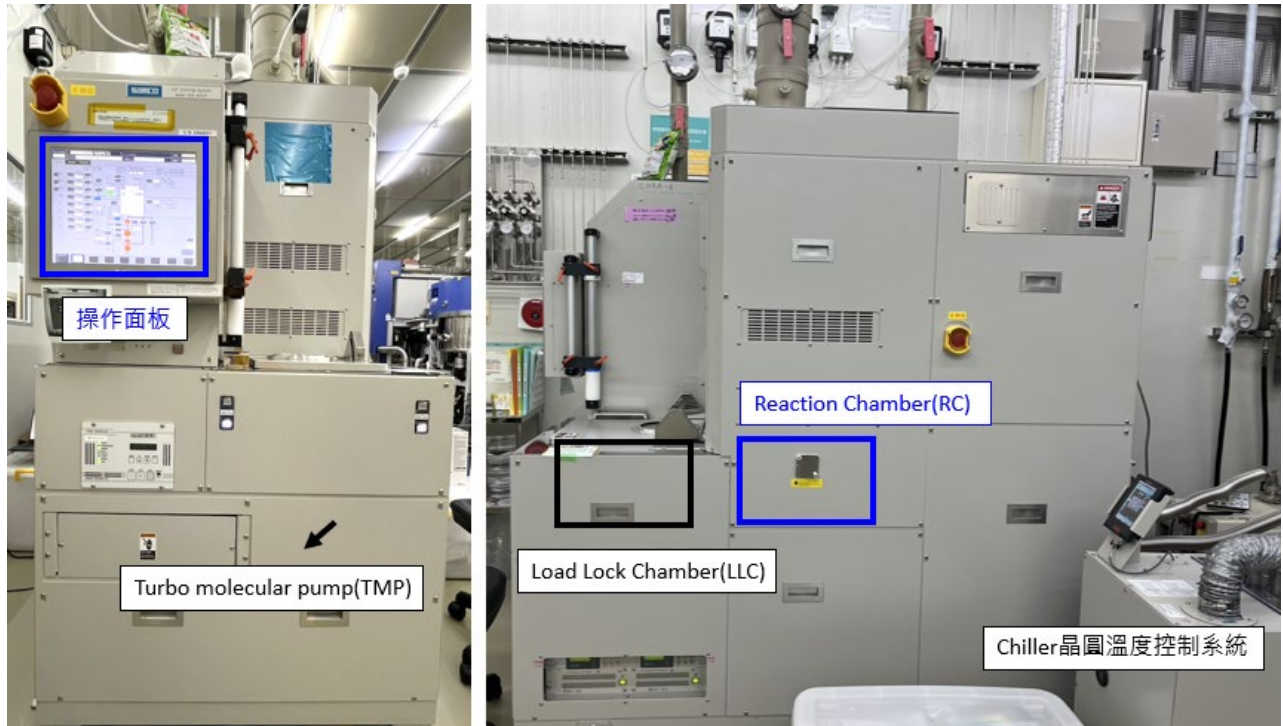


圖 3-1、 ICP 機台機構介紹

本儀器配有一個反應腔體 (Reaction Chamber) 與載入腔體 (Load lock chamber)，主要包含(1)電漿產生系統(2)真空系統(3)氣體傳輸系統(4)晶圓傳輸系統(5)晶圓溫度控制系統(6)電腦控制系統。

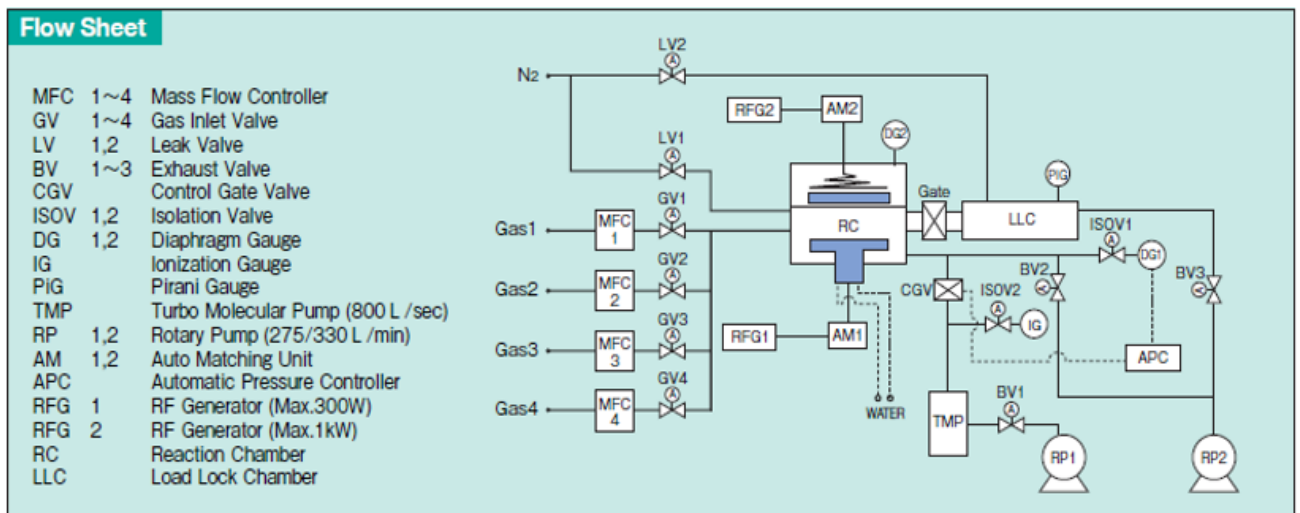


圖 3-2、 ICP內部構造

- RF2:上電極電漿產生系統，包含頻率為 13.6MHz 的射頻功率產生器，電流經過阻抗匹配箱(AM2)，再傳入腔體上方螺旋環繞之線圈，最大輸出功率為 1000W(因機台較為老舊，最大功率僅開放至 600W)。
- RF1:下電極電漿產生系統，包含頻率為 13.6MHz 的射頻功率產生器，電流經過阻抗匹配箱(AM1)，再傳入靜電式晶圓座(E-chuck)，最大輸出功率為 600W，其功能可施加附向偏壓，吸引正離子轟及晶圓表面，以達到良好的非等向性效果。

(1) 電漿產生系統

本機台內部構造如圖十二，反應室上部的石英絕緣板(Plasma Window)上設置有漩渦狀的感應線圈，線圈連接到 13.56MHz 的 RF 電源，電流經過阻抗匹配箱，再傳入腔體上方螺旋環繞之線圈，對線圈通以高頻率電流時，被激發出磁場，藉由此磁場，反應室內則被激發出電場，產生高密度電漿，稱其為 ICP Source，最大輸出功率為 1000W。下電極的部分包含頻率為 13.56MHz 的射頻功率產生器，電流經過阻抗匹配箱，再傳入靜電式晶圓座(E-chuck)，最大輸出功率為 600W，其功能可施加附向偏壓，控制離子轟擊能量，吸引正離子轟及晶圓表面，以達到良好的非等向性效果。這種用上電極感應線圈控制離子解離濃度，下電極控制離子轟擊能量的方法，使得蝕刻效果可達到極為優良的控制。

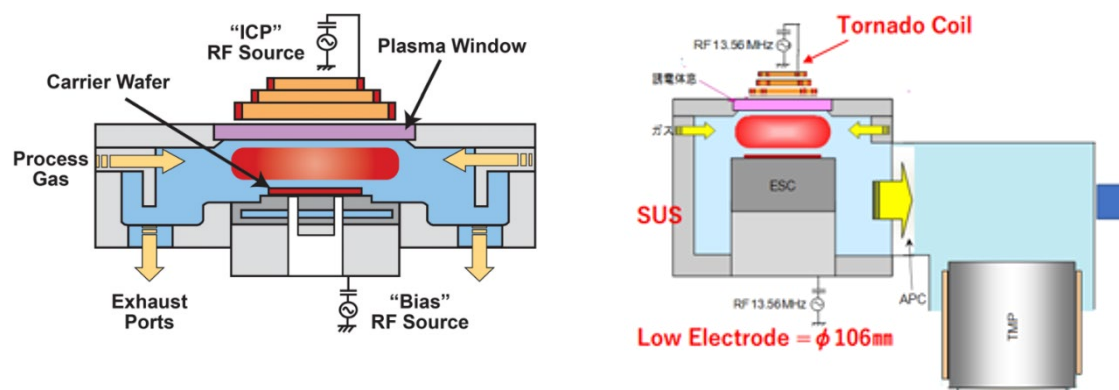


圖 3-3、機台設備內部結構[Samco官網]

(2) 真空系統

蝕刻主腔體(RC)的真空系統配有一個迴轉幫浦RP1(Rotary Pump)，可先進行反應室腔體粗抽，待壓力約降至2Pa，才會開啟渦輪幫浦(Turbo Pump)，反應室腔體真空度可低於 5×10^{-3} Pa。承載腔體(LLC)使用迴轉幫浦RP2(Rotary Pump)來抽真空，可達 0.1Pa左右。

(3) 氣體傳送系統

氣體供應系統是由氣瓶、質流量控制器(Mass Flow controller, MFC)與氣動閥所等組成。可提供 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、 CHF_3 、 Ar 、 O_2 、 N_2 七種製程氣體，另配有一獨立之 N_2 氣管路，作腔體沖吹(Purge)用。 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 氣瓶置於氣瓶櫃，並配有氣體監控裝置。質流量控制器可控制氣體的流量，並與氣動閥相配合，來控制進入製程腔體之氣體比例。

(4) 晶圓傳輸系統

承載腔體及反應腔體間是透過機械手臂運送晶圓。

(5) 晶圓溫度控制系統

反應腔體內晶圓座下方配有晶片溫度控制系統(靜電吸盤與He氣冷卻)。

● 靜電吸盤(Electrostatic Chuck,ESC)

隨著蝕刻的進行，晶圓被電漿加熱而溫度上升，蝕刻形狀及線寬強烈受到反應生成物朝向圖形側壁的再附著所支配，由於反應生成物的附著性強烈取決於溫度，為了提高蝕刻精度，必須控制晶圓溫度。靜電吸盤即是使用靜電力讓晶圓緊黏，扮演蝕刻中讓晶片溫度固定與均勻的角色。

● 晶圓溫度控制的原理

晶圓的溫度控制是靠著被溫控的下電極(靜電吸盤)與晶圓背面，藉由熱接觸而間接的進行，藉由讓來自冷凝器(Chiller)的冷媒循環，使靜電吸盤能夠保持某特定溫度，因為從靜電吸盤朝向晶圓的熱的移動，僅靠物理的接觸並不充分，會在晶圓與靜電吸盤之間充以He氣以助熱傳導，He具有非常高的熱傳導率，在晶圓與靜電吸盤之間通以He能夠有效的控制製程溫度，另外透過Chiller的溫控系統可將靜電吸盤溫度最高升至 200 度。

3-2 機台規格

- 氣體：Cl₂、BCl₃、SiCl₄、Ar、O₂、N₂ 和 CHF₃
- 試片尺寸：破片 ~ up to 4" wafer
- 蝕刻材料：III-V 及金屬材料或矽化物
- RF 最大功率：1KW(Source) / 600W(Stage)

3-3 Sample 種類要求及限制

- (1) 僅接受 2"~4" wafer 或破片。破片須以真空膠帶固定置於 Whole wafer 上，破片未固定或者使用光阻固定者，一律禁止置入。
- (2) Whole wafer 背面及邊緣須完全清潔始可置入，不可有任何光阻、膠合物等沾染物。
- (3) 試片務必要乾淨、乾燥且無任何 particle，若有 particle 請先以氮氣槍吹乾淨。
- (4) 於真空中具揮發性，或有礙真空維持及可能污染腔體之疑慮，嚴禁放入腔體中。
- (5) 金屬材料蝕刻需先知會機台管理者，取得同意後才可進行蝕刻。

3-4 蝕刻參數設定

透過操作面板(圖十三)可做參數設定，可設定製程時間(s)、製程壓力(Pa)、ICP Power(W)、RF Bias Power(W)與氣體流量(sccm)。

重要:參數設定功能僅開放機台管理者使用，如需建立recipe，使用者需填寫recipe申請表格，並至少於使用機台前 3 日寄給機台管理者建立recipe。



圖 3-4、蝕刻參數編輯頁面

3-5 ICP 蝕刻參數對蝕刻效率之影響

不同參數對於物理性蝕刻與化學蝕刻影響是不一樣的，總結如下：

(1) ICP power

ICP power 可控制氣體游離的效率，增加 ICP power 代表電漿密度的增加，對於物理及化學性蝕刻都有影響，主要影響是增加參與化學反應離子的濃度，整體來說蝕刻率會有線性趨勢的增加，以蝕刻 GaN 為例，如圖十四所示，蝕刻率隨 ICP power 成正比增加。[5] 而 ICP power 增加對於選擇比的影響，需考量蝕刻阻擋層對化學/物理性蝕刻的反應狀況以及製程氣體的組成。例如以 $\text{BCl}_3 + \text{Ar}$ 蝕刻 GaN 並且以光阻為蝕刻阻擋層為例，光阻蝕刻的消耗以物理性蝕刻為主，當增加 ICP power (化學性增加) 反而對選擇比有所提升[5]，但須考量長時間高能量的蝕刻，對於光阻來說容易有焦化不容易去除的問題，為了解決此一狀況，可以採取製程中間休息的方式來減少光阻焦化效果，或是改採用 SiO_2 作為蝕刻阻擋層，如以 SiO_2 做為阻擋層，使用的蝕刻氣體 BCl_3 容易與 SiO_2 產生化學性蝕刻反應，這時候加大 ICP power 反而容易造成選擇比下降。此外 ICP power 增加（化學性增加）對於蝕刻垂直性輪廓(Profile)的控制也較為不利。

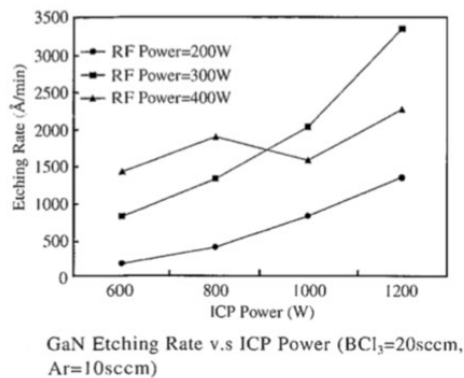


圖 3-5、所示蝕刻率隨 ICP power 成正比增加。[5]

(2) RF power

影響氣體離子的動能，RF power 增加，加強了正離子向下轟擊的加速度，主要是增加物理性蝕刻的過程，其對於蝕刻率的影響如圖十五，可發現大部分的狀況蝕刻率隨 RF power 增加而上升，但對於高 ICP 高 RF power 的狀況蝕刻率反而下降[5]，可能的原因在於過度增加離子動能以提高離子行進速度，反而使得化學性反應還來不及進行就被後來的離子趕走，造成蝕刻率不升反降。增加 RF power 等於增加了物理性蝕刻，在蝕刻 GaN 此種材料有極大幫助，由於 GaN 屬於強鍵結，需增加離子轟擊才能有效蝕刻，因此對於非等向性(垂直性)蝕

刻有好處，但是會降低蝕刻選擇比，以及增加蝕刻表層的晶格損傷。

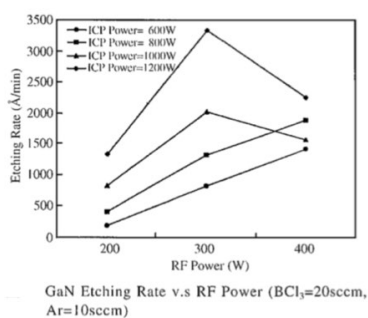


圖 3-6、RF power 與蝕刻率之關係^[5]

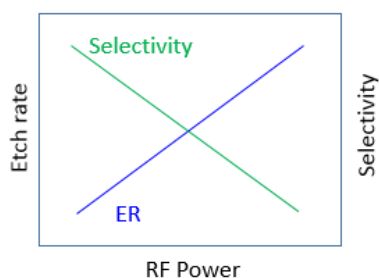


圖 3-7、RF power 與蝕刻率/選擇比之關係

(3) Pressure

此機台壓力單位為 Pa，壓力的影響會對應到所使用的 ICP power，當 ICP power 低的時候由於氣體解離量不多，壓力的增加對應到的是反應氣體的濃度增加，也增加了離子濃度，代表化學性蝕刻的增加，蝕刻率有提升但對於 profile 的控制較不利，一般在小線寬的蝕刻條件我們會選擇盡可能低壓的環境。當 ICP power 高的時候腔體氣體解離度高，而高濃度的氣體造成平均自由路徑變小，分子間的相互撞擊力減低，加上氣體分子的解離速率可能小於復合速率，最後使得電漿解離能力降低，造成蝕刻率下降。本機台製程壓力的設定大都在 1.5Pa 以下，在小線寬方面的蝕刻，對於蝕刻率要求不高，反而是蝕刻輪廓的控制，因此會操作在低壓的條件下，但是對於腔體的最小壓力是有所限制的，隨著機台的排氣量極限會影響到在固定流量下的最小壓力值，以本機台來說總流量 40sccm 其所能達到的最小壓力值約為 0.67Pa，壓力再下去 APC(auto pressure control)系統就無法正常控制閥開度控制腔體的壓力，因此使用者在壓力設定上應配合對於閥開度 (<70%較為穩定) 的觀測做適當的設定。

(4) Flow

流量的設定:氣體流量越高，蝕刻速率越快，蝕刻選擇比也越高(圖十七)，對於蝕刻的均勻性也有所提升，但對於小線寬的蝕刻，往往會要求低壓的環境，流量就須有所取捨，當流量下降對於整片 wafer 的均勻性就會有影響，選擇比也會降低。

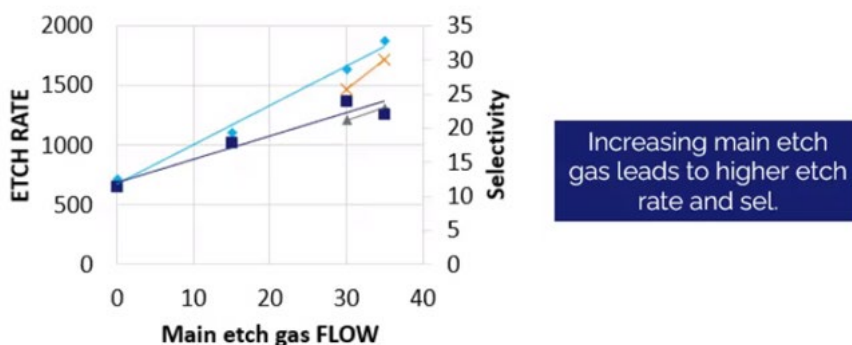


圖 3-8、使用氯系列氣體蝕刻 VCSEL 元件，其流量與選擇比/蝕刻率相關性之趨勢圖。

(5) Temperature

本機台可進行載台之升溫，溫度範圍為攝氏 20~160°C，機台所設定之標準製程溫度為 35°C，對於特殊材料例如 InP，其反應生成物因含有 In 難以揮發，則需增加載台溫度達 150°C 以上才能有效清除反應生成物。

蝕刻參數的調整相對複雜，應為選擇之氣體與各項參數之間綜合反應的結果，例如上下電極的比例就深深影響著化學性與物理性反應的抗衡，ICP power 太大化學性太強造成弓狀 profile，Bias power 太小來不及帶走反應生成物，造成蝕刻區域內的阻擋物而形成雜草現象，或是 Bias 太大而造成的底切(Under cut)之狀況，因此對於蝕刻參數的調整往往需要許多次實驗才能找到最佳的比例，牽一髮而動全身，另外對於大線寬與小線寬的蝕刻條件也會有所不同。

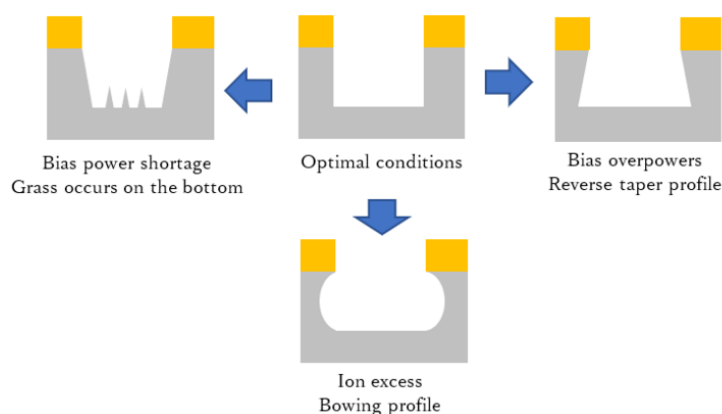


圖 3-9、蝕刻參數對蝕刻輪廓之影響。[Samco 官網]

3-6 蝕刻氣體之用途 [4][5][6][7][8]

本機台所提供之氣體為 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、 CHF_3 、 O_2 、Ar

- 三五族材料的蝕刻以 Cl_2 做為主要蝕刻氣體，副蝕刻氣體為 BCl_3 或是 SiCl_4 ，再加上 Ar 增加物理性轟擊效果。
- 金屬蝕刻：需看蝕刻材料屬性，像是鋁 (Al) 鈦(Ti)屬於化學性蝕刻，使用 Cl_2 蝕刻率容易有顯著提升，而像是 Au，Pt，這一類的金屬蝕刻則需增強物理性蝕刻的效果，像是以氯氣為基礎增加 BCl_3 或是 Ar 以及 RF power，蝕刻效果才有顯著提升。

(1) Cl_2

屬於 Cl^* 自由基化學性蝕刻，比例越多化學性蝕刻的效果加大，蝕刻率會往上但是對於蝕刻輪廓的控制非常不利。

(2) BCl_3

包含了 Cl^* 與 BCl^* 自由基吸附的化學反應，以及其解離出的 BCl_2^+ 的離子轟擊有效增加斷鍵效果而增加蝕刻率，離子轟擊反應高，對非等向性的效果極有幫助，另外 BCl_3 容易與氧結合，對於材料表面氧化物容易反應帶走，扮演突破性蝕刻的角色，但是使用 BCl_3 容

易拉低蝕刻材料對 SiO₂ 的蝕刻選擇比，如使用 SiO₂ 作為 Hard mask 需格外注意選擇比的計算。

(3) SiCl₄

和 BCl₃ 相同都帶有離子轟擊的效果，對於非等向性有幫助，另外產生的 SiCl₂ 會有沉積的狀況，可以形成側壁保護的效果。在 InP 的蝕刻上使用 SiCl₄ 可以對蝕刻阻擋層(Si₃N₄)有很高的蝕刻選擇比（大於 10）。

(4) Ar

單純進行物理性轟擊，對蝕刻率有加乘的效果，另外有些材料反應生成物不易揮發，容易重新沈積在表面，增加 Ar 可以增加對表面生成物濺擊的效果，適量的 Ar 對於蝕刻表面的平整性有很大的幫助。

(5) CHF₃

屬於氟系氣體，主要用於 SiO₂ 或 Si₃N₄ 之蝕刻，在此機台的應用多為蝕刻硬遮罩(Hard mask)。

(6) O₂

可做為光阻或高分子化合物之蝕刻。在使用氯氣蝕刻 Si 蝕刻時添加 O₂ 形成 SiO₂ 沈積可形成側壁保護的效果，另外在蝕刻 Cr 時添加 O₂ 產生的 CrO₂Cl(如表一)其沸點可有效降低到可揮發的溫度有效增加蝕刻速率。

3-7 本儀器破片尺寸(<2cm*2cm)常見蝕刻材料，蝕刻率之參考

- GaN: Cl₂/BCl₃ or SiCl₄/Ar，蝕刻率 8nm/s(大功率); 蝕刻率 1.43nm/s(小功率)
- AlGaN: Cl₂/BCl₃ or SiCl₄，蝕刻率 4nm/s(小功率)
- GaAs/AlGaAs: BCl₃/Ar，蝕刻率 1.33 nm/s(小功率)
- Spphire: Cl₂/BCl₃，蝕刻率 0.15 nm/s(小功率)
- ITO: Cl₂/BCl₃，蝕刻率 0.5 nm/s(大功率)
- Al: Cl₂/BCl₃/Ar，蝕刻率 1nm/s(小功率)
- Pt: Cl₂/BCl₃，蝕刻率 0.4 nm/s(大功率)
- Ni: BCl₃/Ar，蝕刻率 0.25 nm/s(大功率)
- SiO₂: CHF₃，蝕刻率 0.33 nm/s(小功率)
- SiO₂: CHF₃，蝕刻率 3 nm/s(大功率)
- Glass: CHF₃，蝕刻率 0.17 nm/s(小功率)

(註:大功率:300W;小功率:100W)

3-8 RIE-400iP 蝕刻案例

校內研究以化合物半導體(高功率&高頻元件)、與奈米光學(超穎介面)研究為使用者之大宗，其中包括蝕刻 GaN/AlGaN HEMTs、GaAs、InP/InGaAs HBT 的元件結構、超穎光學結構，另外也用於 VCSEL 的蝕刻。

Material	AlGaAs/GaAs	Al	石英玻璃	TiO2	GaN	SiH
最小線寬	>10um	2um	300nm	100nm	50nm	250nm
SEM/OM						
蝕刻深度	3.3um	185nm	60nm	270nm	132nm	620nm
蝕刻氣體	BCl3/Ar	Cl2/BCl3	Ar/CHF3	CHF3/O2	Cl2/BCl3	CHF3

圖 3-10、近三年蝕刻案例

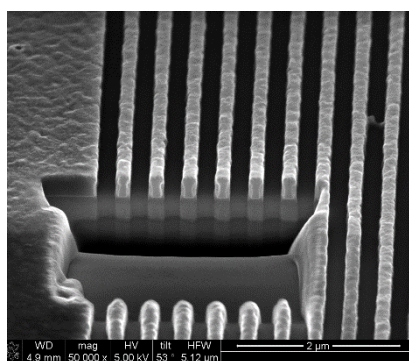


圖 3-11、200nm Al 金屬線蝕刻(Cl₂/BCl₃/Ar)

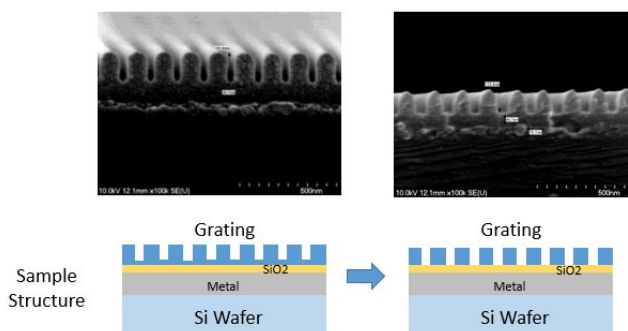


圖 3-12、奈米壓印殘膠去除，線寬<100nm(O₂)

3-9 蝕刻率監測

本機台以含有 pattern Si 破片做為蝕刻率控片，每兩周進行蝕刻率監測，以確保機台穩定性。(Si etch recipe :Cl₂/BCl₃/Ar 90s 小功率)

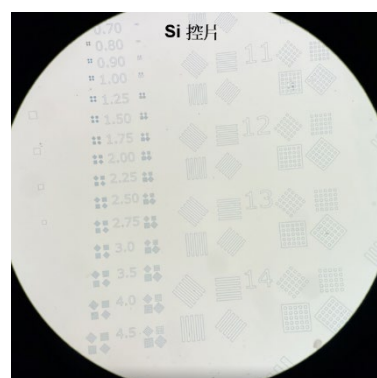
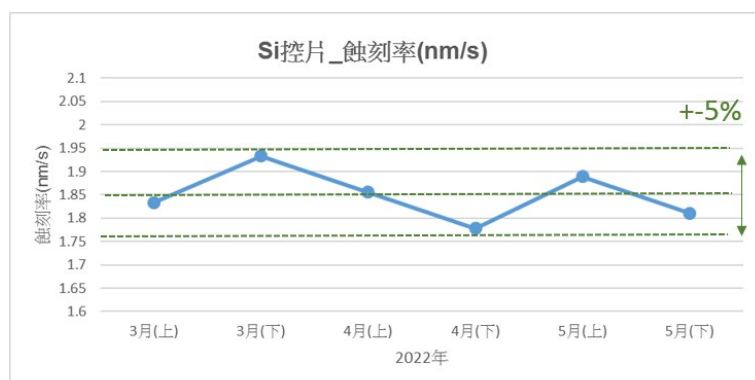


圖 3-13、連續三個月蝕刻率監測

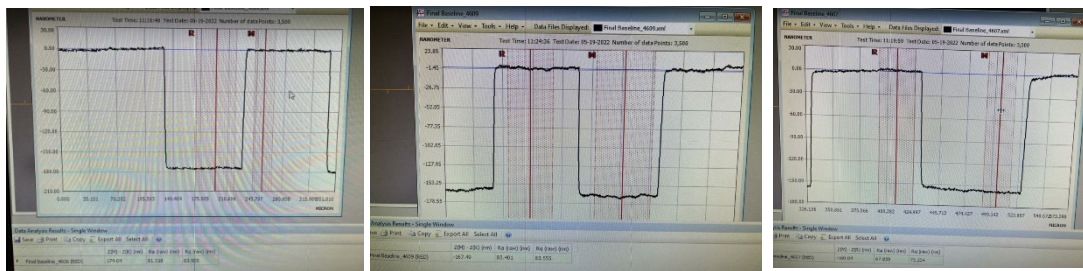


圖 3-14、表面粗糙儀測量蝕刻深度

3-10 操作流程

(1) 刷卡取得機台使用權



(2) 使用者操作機台前，應填寫綠本”使用者檢查表”逐一確認每個項目正常，才可使用，若機台有問題將追究最後一位使用者。(檢查表如下)

(1208 Metal ICP) RIE-400iP 儀器使用檢查表

使用日期 ____ / ____ / ____

時間 ____ : ____ ~ ____ : ____

使用前檢查

使用後檢查

☐ 檢查 Ar、He、CHF₃、N₂、O₂(有 2 個)氣體閥 1~ kgf/cm²

☐ 檢查 CDA 的值为 0.6 MPa (不可低於 0.55 MPa)

☐ 檢查 CDA 的值为 0.6 MPa (不可低於 0.55 MPa)

☐ 檢查 3 個廢氣抽氣閥壓力有值(50mm)

☐ 檢查 3 個廢氣抽氣閥壓力有值(50mm)

☐ 檢查 1 個一般抽氣閥壓力有值(20mm)

☐ 檢查 1 個一般抽氣閥壓力有值(20mm)

☐ Chiller 加熱溫度於 20 度

☐ Chiller 加熱溫度於 20 度

☐ 檢查冰水機水位正常

☐ 檢查冰水機水位正常

☐ 檢查機台是否為 ON

☐ 檢查機台是否為 ON

☐ 環境溫度 ____ 濕度 ____

☐ 環境溫度 ____ 濕度 ____

☐ Sample Holder 是否取出 ____ 數量 ____

☐ Sample Holder 是否取出 ____ 數量 ____

(環境溫度應<25℃，濕度<60%)

- 機台負責人有權利覆蓋 recipe，使用前請務必確認 Recipe 設定內容無誤，包含以下項目：

☐ Recipe 是否綁定至正確的 Group

☐ 該 Group 中是否包含正確的 Step 數量

☐ 各 Step 的參數與內容是否設定正確

- 注意事項：

1. 若發現使用前檢查項目有任一項未通過，請通知中心機台負責人陳子欣、分機 31380 -

2. Recipe 之建立、修正或確認請於三天前發郵件 or line 給機台管理員，請使用者務必遵守規範，非三天前寄恕不受理 -

3. 機台使用後若有未復歸現象，一經發現一律以停權論，輕者 1 個月，嚴重者 3 個月或吊銷執照一年之內不得再考

4. 機台開機即收費，不負責實驗結果

(※我已詳閱注意事項並完成使用前後檢查，使用者確認：____)

- ☐ 檢查 Ar、He、N₂、O₂(有 2 個)氣體閥 1~ kgf/cm²



- ☐ 檢查 CDA 的值為 0.6 MPa (不可低於 0.55 MPa)



- ☐ 檢查 3 個廢氣抽氣閥壓力有值(50mm)
- ☐ 檢查 1 個一般抽氣閥壓力有值(20mm)



□ Chiller 加熱溫度於 20 度



□ 檢查冰水機水位正常

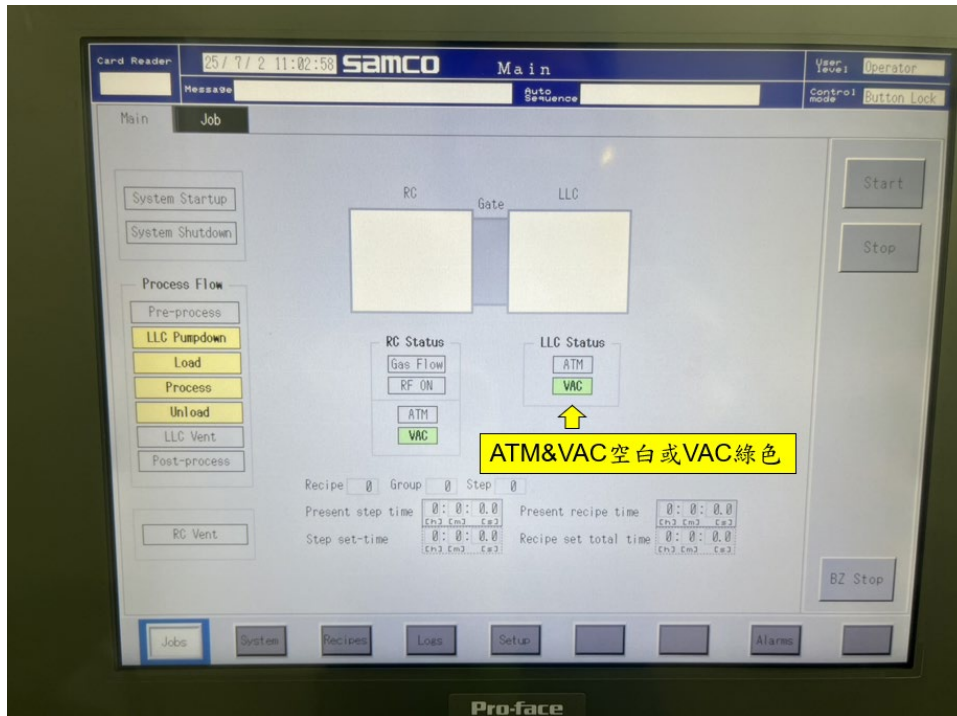


- ☐ 檢查機台是否為 ON
- ☐ 環境溫度_____濕度_____
- ☐ Sample Holder 是否取出_____數量____
(環境溫度應<25℃，濕度<60%)

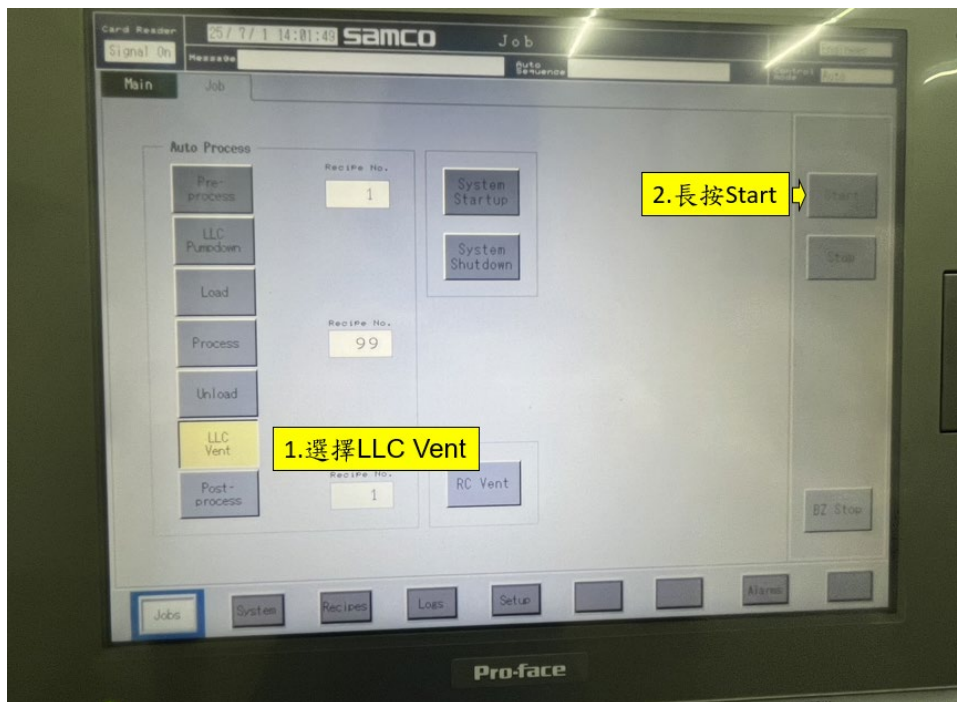


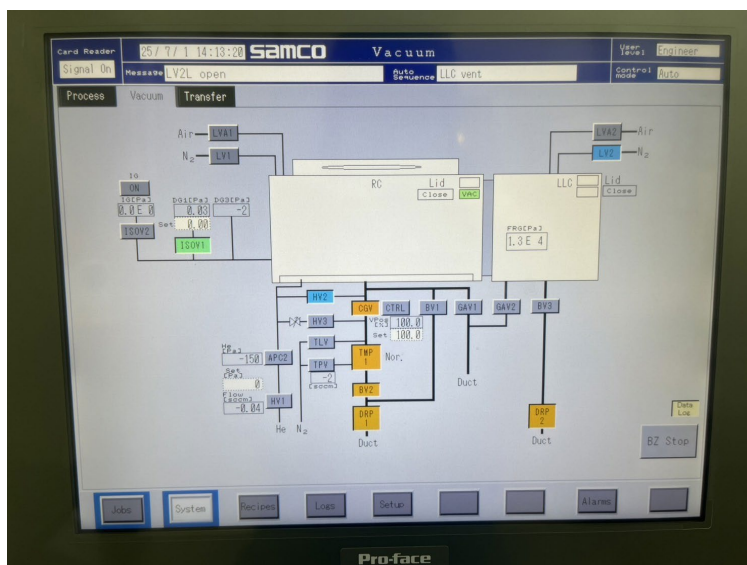
(3) 取出 holder 黏置試片

(3.1) 確認 LLC 真空狀態→ATM&VAC 空白或 VAC 綠色

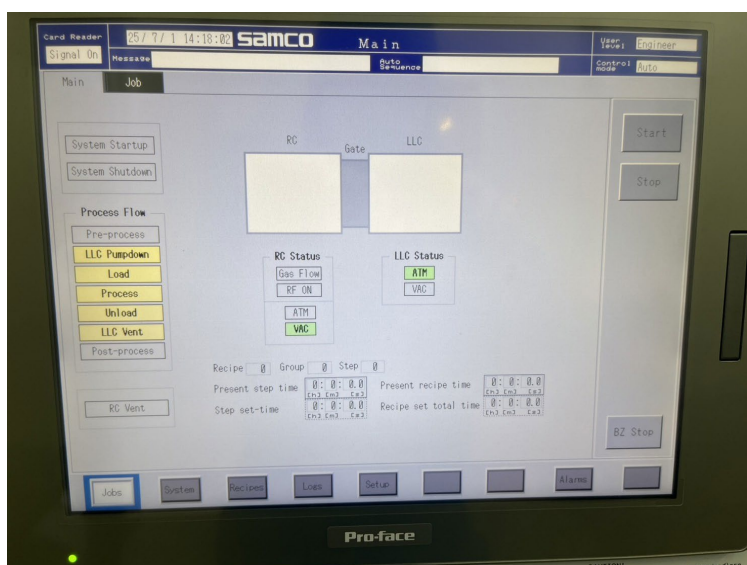


(3.2) 點選 LLC Vent→長按 Start





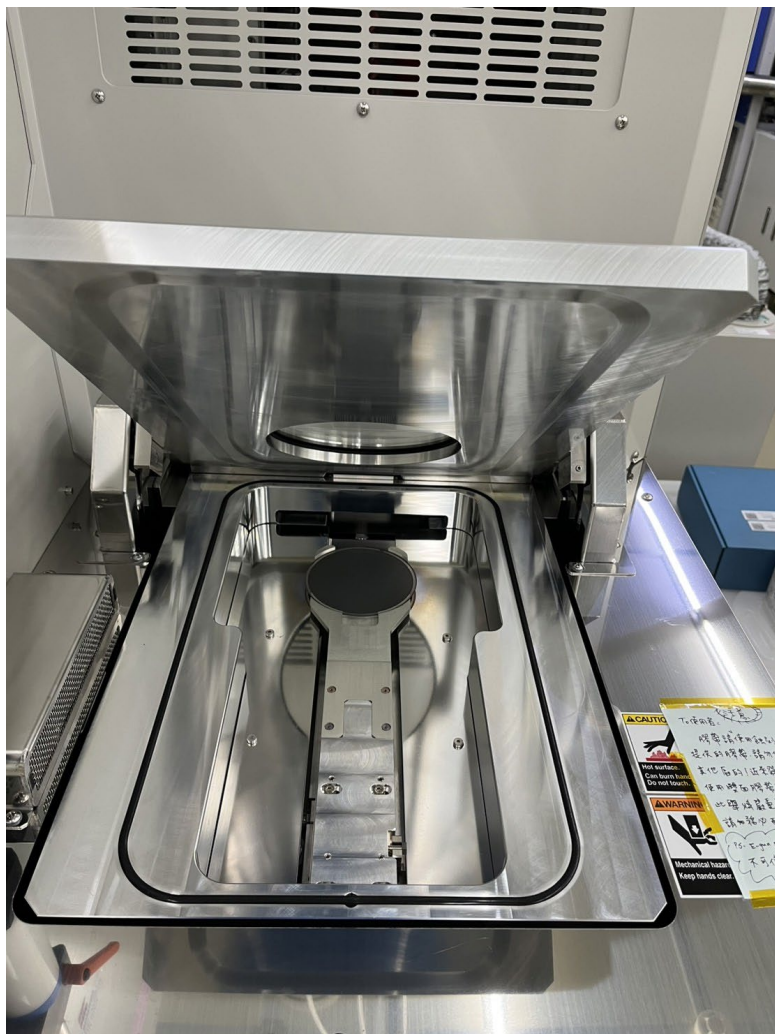
(3.3) vent 完成機台會嗶嗶兩聲，確認 LLC 真空狀態→ATM 顯示綠色



(3.4) 打開 LLC chamber



(3.5) 取出 holder 於工作桌黏試片，holder 正面為黑色，將試片黏在正面。



(3.6) 試片黏好後請放入 robot 中，關閉 LLC chamber

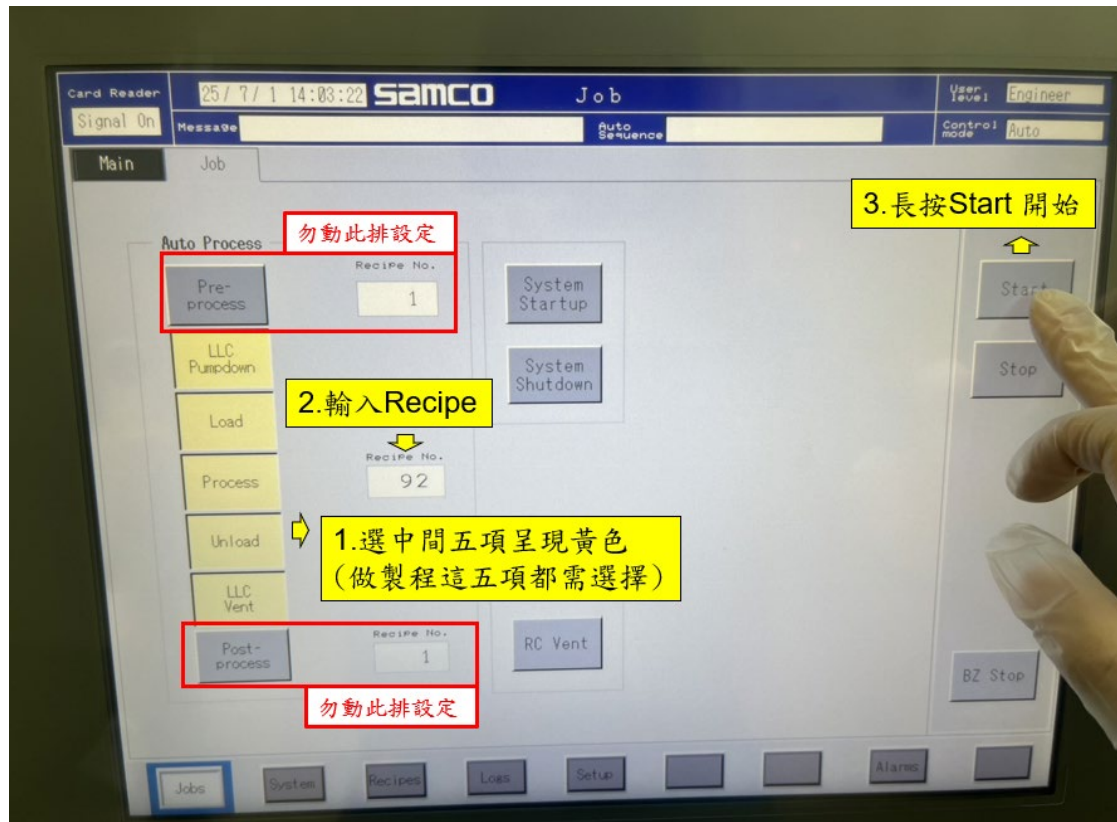


(4) 開始製程步驟

(4.1)點選”左下 Job”

(4.2)點選”上方 Job”

(4.3)選中間五項(做製程這五項都需選擇)



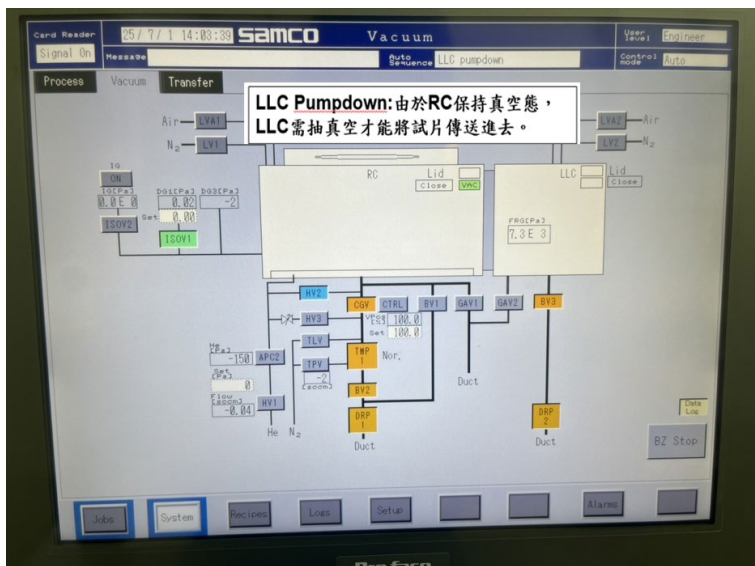
(注意:Recipe 的選擇請於黃本確認使用者姓名所對應的 recipe，並於螢幕上做初步確認 recipe 內容是否正確)

- 所有 Recipe 都包含兩個步驟

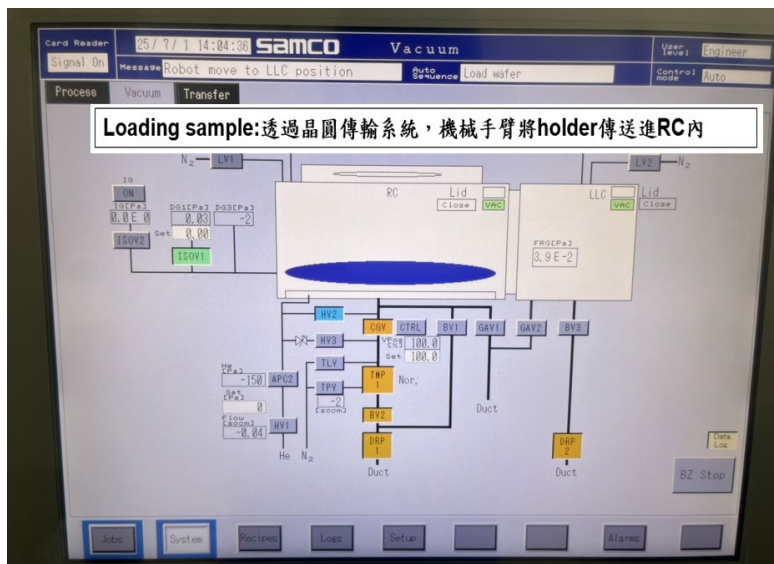
Step 1(試打電漿):與 step 2 內容一樣，只是不開 Bias 以及因為是試打電漿製程時間僅為 5s。

Step 2(製程條件):應與黃本上內容相符。

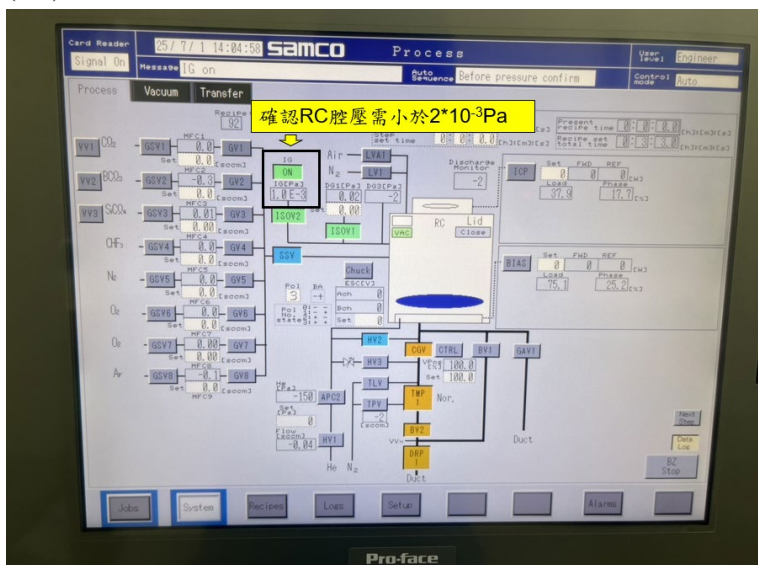
(4.4) 此時機台會由“LLC pumpdown”開始運作



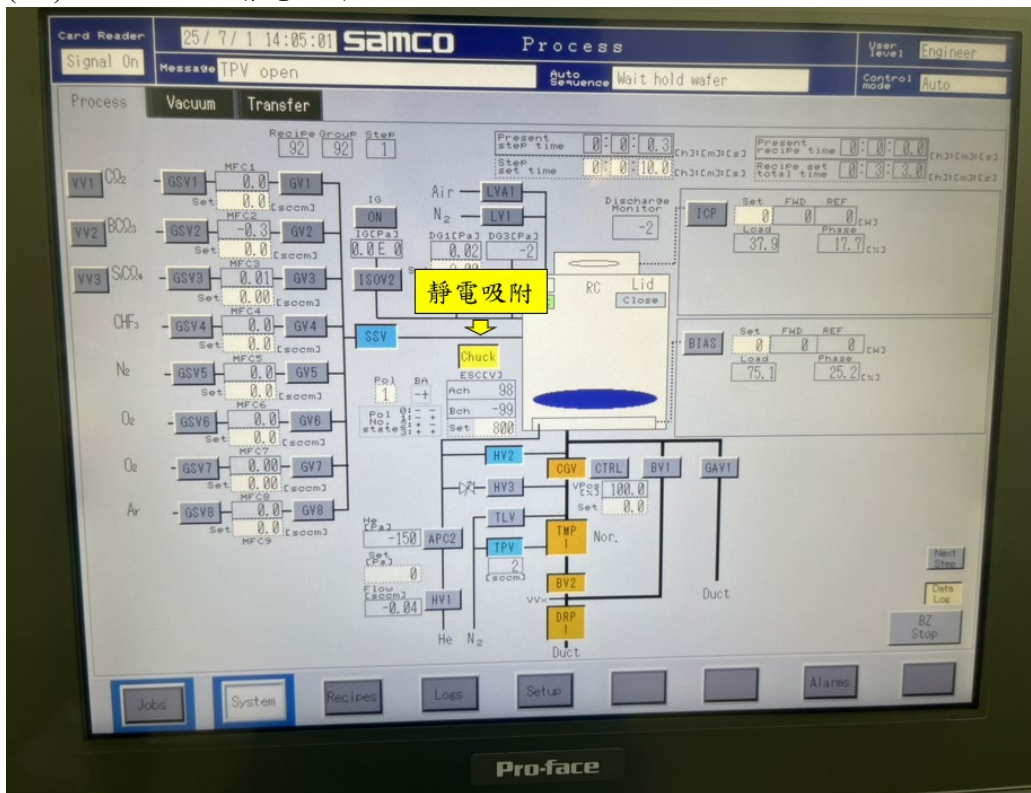
(4.5) Loading sample



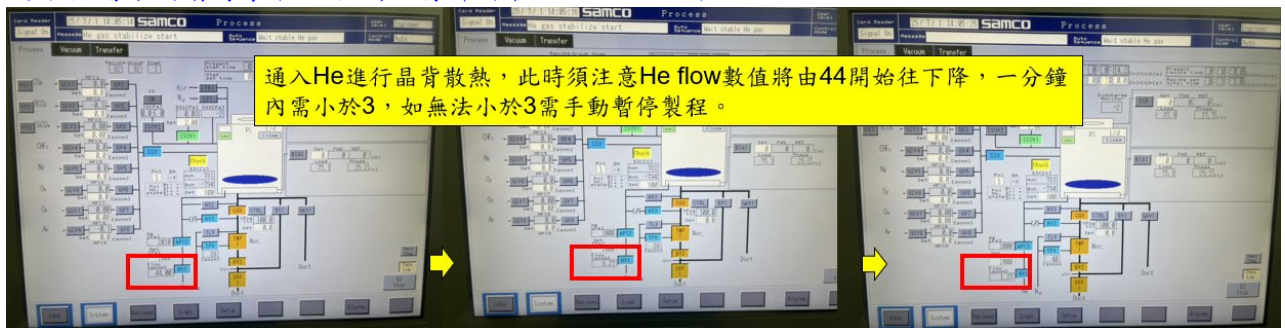
(4.6) 確認 RC 腔壓需小於 2×10^{-3} Pa



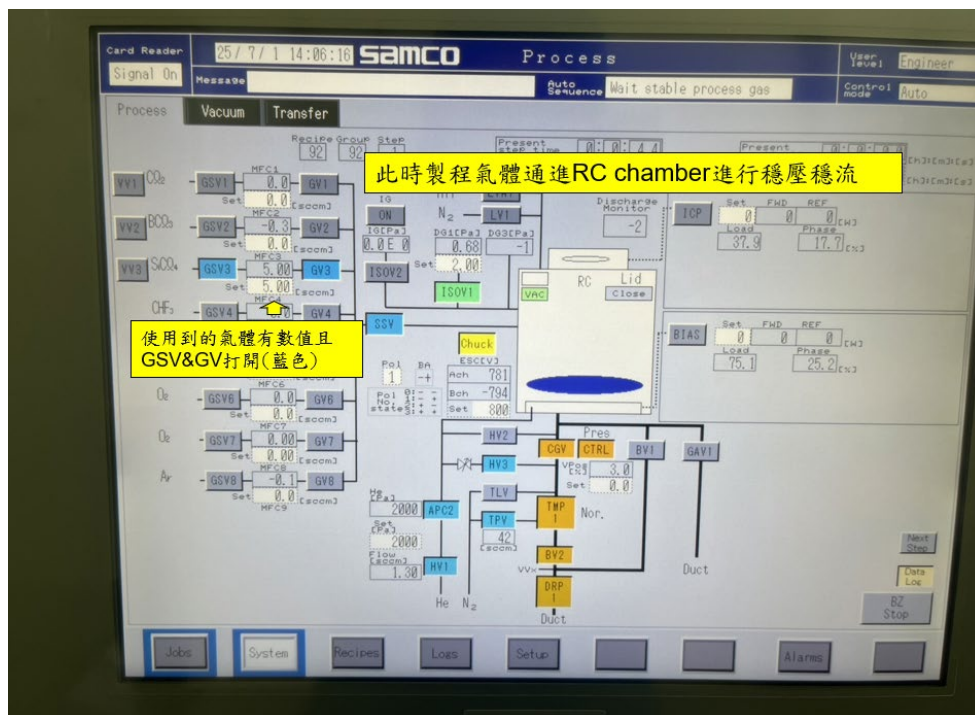
(4.7) Hold wafer → 靜電吸附



(4.8) Wait stable He gas → He flow 代表靜電吸附的緊密程度，若無法在 1 分鐘內降至 3 以下代表吸附不佳需手動暫停製程，否則恐有掉片在 chamber 內的風險。

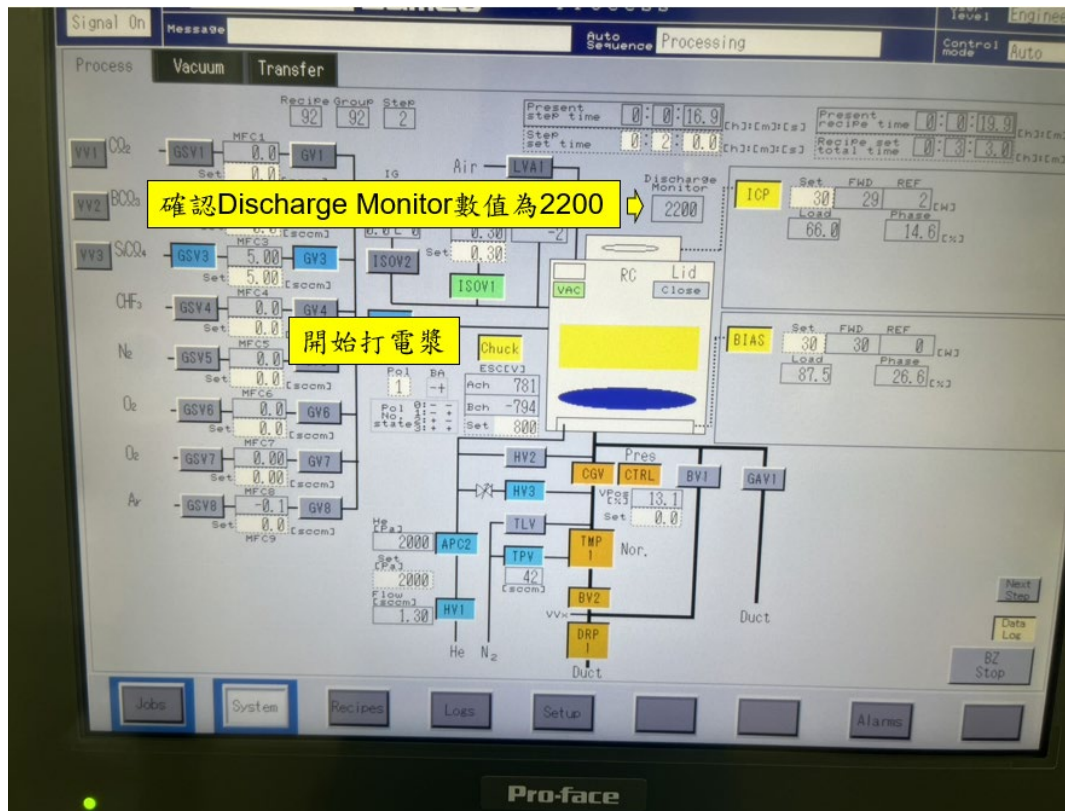


(4.9) Wait stable process gas→此時製程氣體通進 RC chamber 進行穩壓穩流

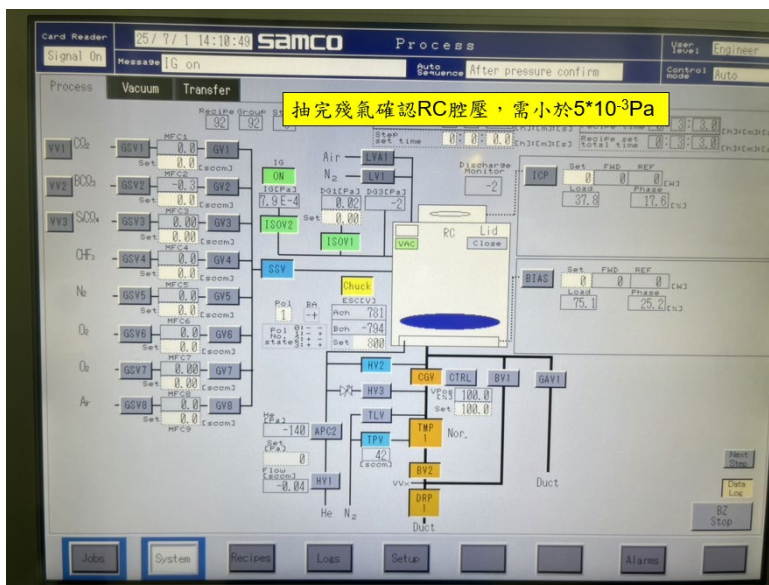
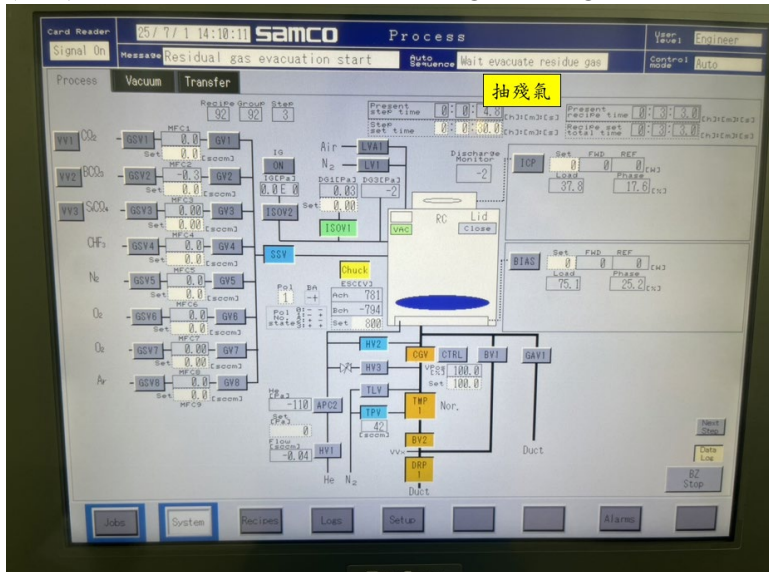


在此步驟製程氣體開始通入，如有使用氯系氣體，可觀測機台上方之偵測器是否有值，如發現上面有值即代表異常，無論數值多小都屬於異常狀況，請按下**Stop** 暫停製程，並通知無塵室內所有使用者進行疏散到無塵室外，並通知工程師處理。

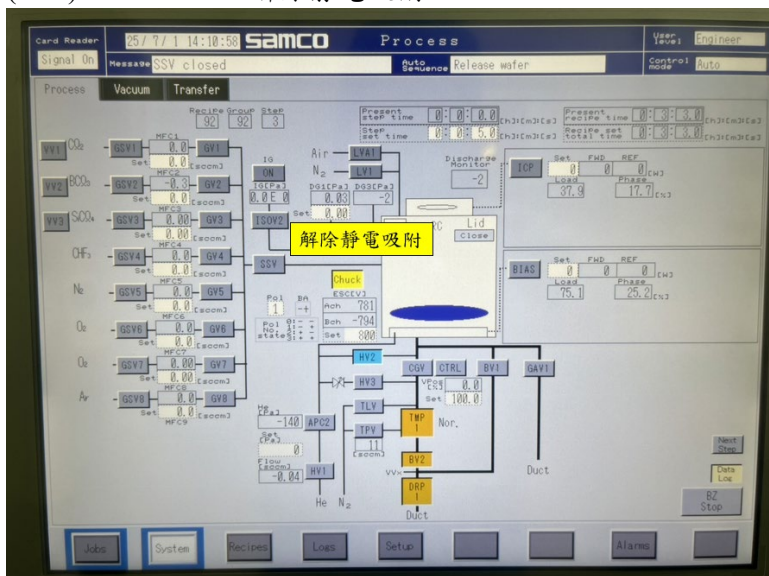
(4.10)螢幕會顯示”Plasma discharge On”，可以看到 recipe 設定並檢查電漿是否開啟



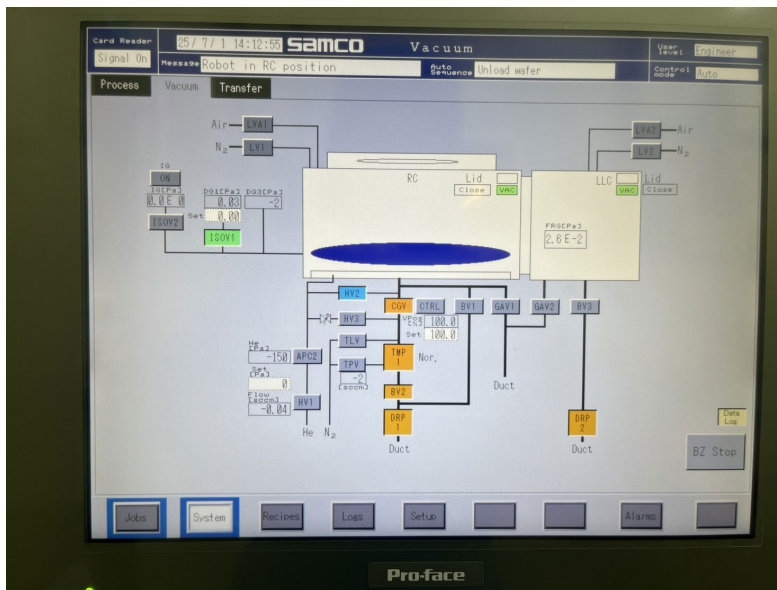
(4.11) 抽殘氣-螢幕會顯示”Evacuating residue gas” 約 1 分鐘



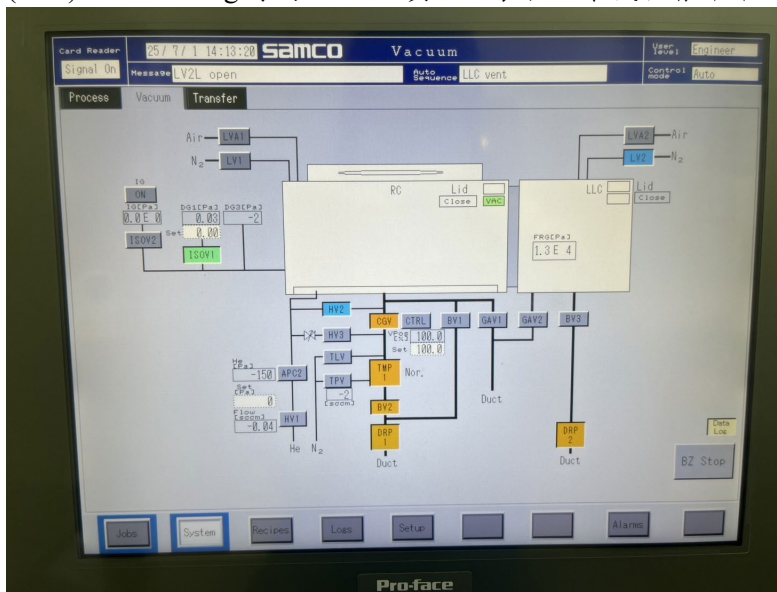
(4.12) Release wfer 解除靜電吸附



(4.13) Unloading sample



(4.14) LLC Venting 等待 LLC 破真空，製程結束機台會嗶嗶兩聲



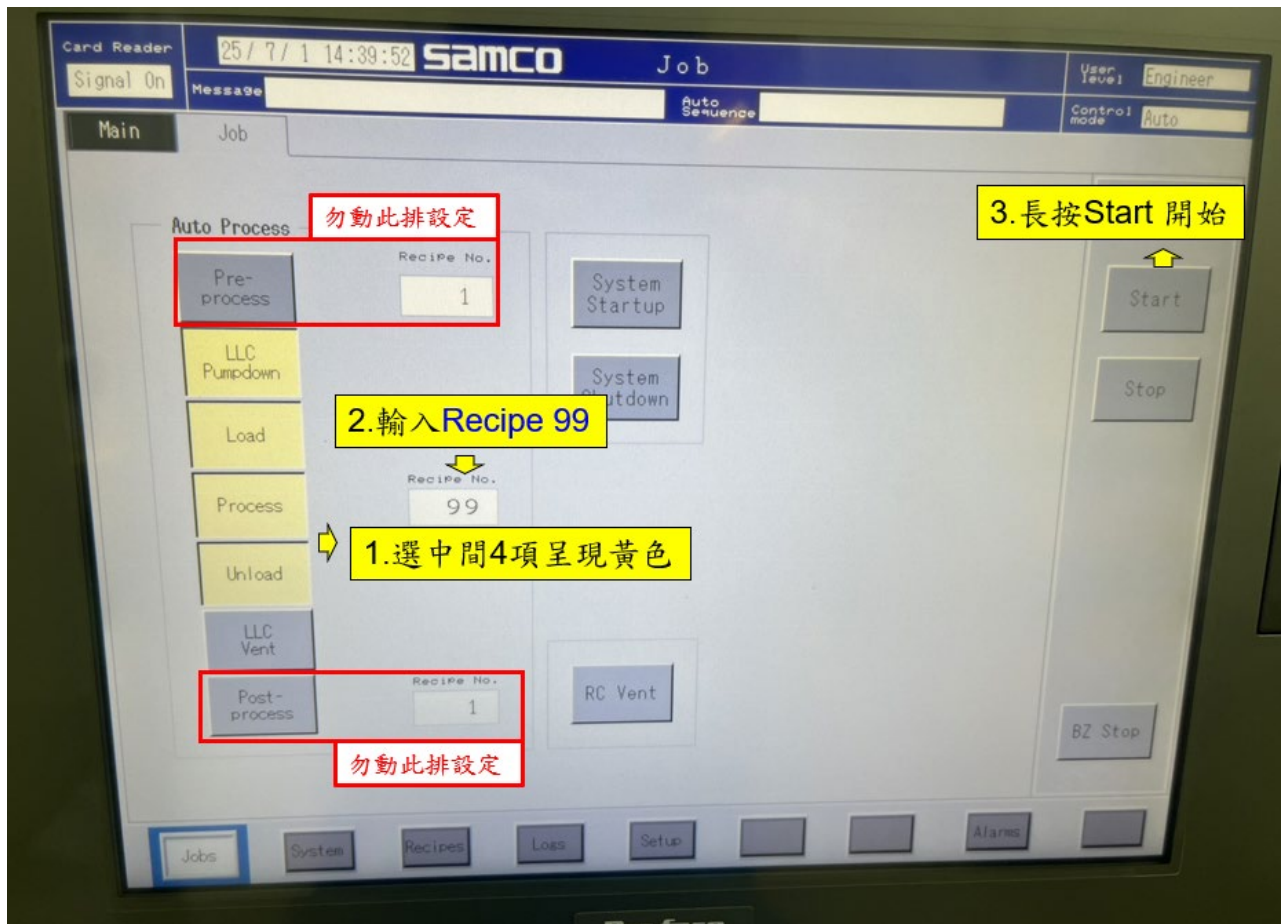
(4.15) 打開 chamber 並取出 holder 把試片拿下

(5)執行 Clean Run

- 在所有製程結束後，交給下一位使用者之前需執行 Clean 製程(總共需花費時間約 40 分鐘)

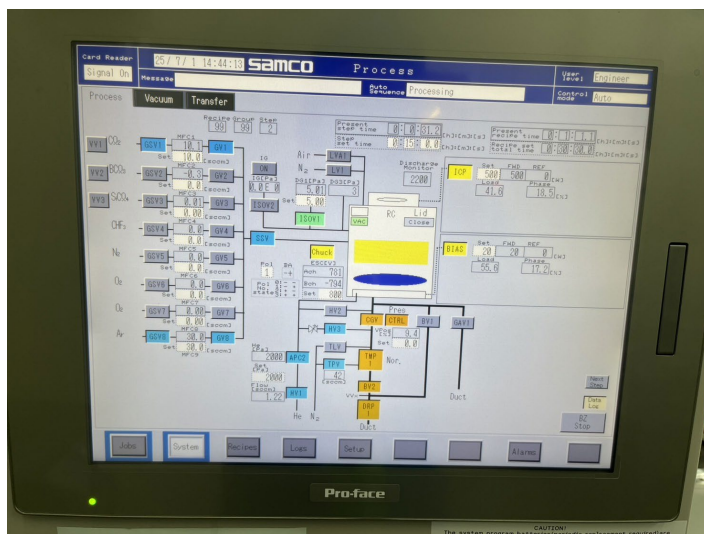
(5.1) 務必將 Holder 放回 LLC 中

(5.2) 到 Job 頁面選擇中間四個選項並輸入 recipe 99，確認後長按“start”開始執行 clean run 製程。



製程中須注意

1. Wait stable He gas → He flow 代表靜電吸附的緊密程度，若無法在 1 分鐘內降至 3 以下代表吸附不佳需手動暫停製程，否則恐有掉片在 chamber 內的風險
2. Processing → 確認電漿點亮 Discharge Monitor 數值為 2200 透過視窗觀測。



(5.3) 製程結束機台會嗶嗶兩聲，

(6) 卡刷退



(7) 填寫使用後檢查表

(1208 Metal ICP) RIE-400iP 儀器使用檢查表

使用日期 ____/____/____ 時間 ____:____~____:____

使用前檢查 ☐ 檢查 Ar、He、CHF ₃ 、N ₂ 、O ₂ (有 2 個) 氣體閥 1~kgf/cm ² ☐ 檢查 CDA 的值为 0.6 MPa (不可低於 0.55 MPa) ☐ 檢查 3 個廢氣抽氣閥壓力有值 (50mm) ☐ 檢查 1 個一般抽氣閥壓力有值 (20mm) ☐ Chiller 加熱溫度於 20 度 ☐ 檢查冰水機水位正常 ☐ 檢查機台是否為 ON ☐ 環境溫度 _____ 溫度 _____ ☐ Sample Holder 是否取出 _____ 數量 _____ (環境溫度應 <25°C，濕度 <60%)	使用後檢查 ☐ 檢查 CDA 的值为 0.6 MPa (不可低於 0.55 MPa) ☐ 檢查 3 個廢氣抽氣閥壓力有值 (50mm) ☐ 檢查 1 個一般抽氣閥壓力有值 (20mm) ☐ Chiller 加熱溫度於 20 度 ☐ 檢查冰水機水位正常 ☐ 檢查機台是否為 ON ☐ 環境溫度 _____ 溫度 _____ ☐ Sample Holder 是否取出 _____ 數量 _____
---	--

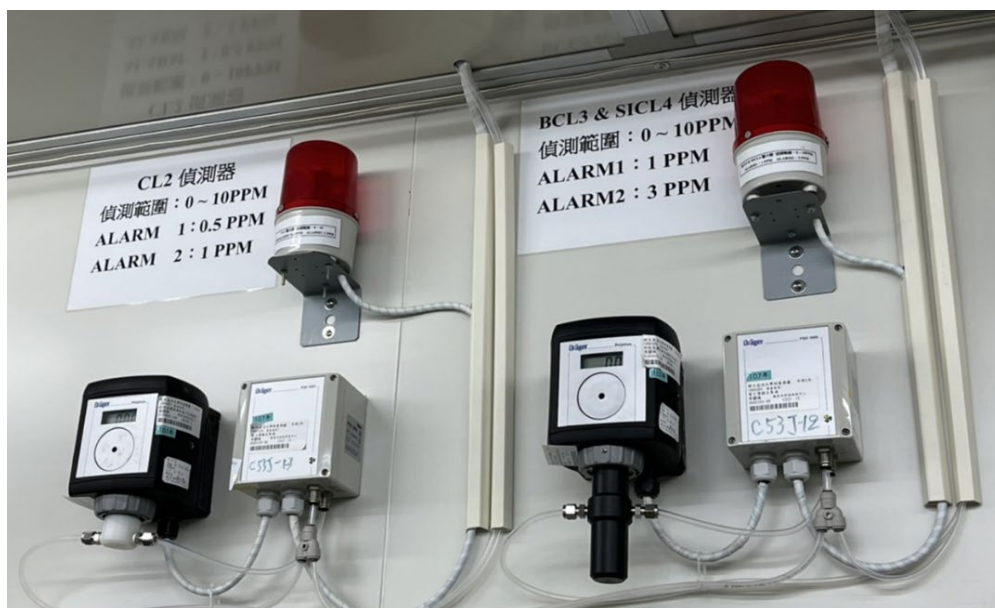
- **機台負責人有權利覆蓋 recipe，使用前請務必確認 Recipe 設定內容無誤，包含以下項目：**
 - ☐ Recipe 是否綁定至正確的 Group
 - ☐ 該 Group 中是否包含正確的 Step 數量
 - ☐ 各 Step 的參數與內容是否設定正確
- **注意事項：**
 1. 若發現使用前檢查項目有任一項未通過，請通知中心機台負責人陳子欣、分機 31380。
 2. Recipe 之建立、修正或確認請於三天前發郵件 or line 給機台管理員，請使用者務必遵守規範，非三天前寄恕不受理。
 3. 機台使用後若有未復原現象，一經發現一律以停權論，輕者 1 個月，嚴重者 3 個月或吊銷執照一年之內不得再考。
 4. 機台開機即收費，不負責實驗結果。

(※我已詳閱注意事項並完成使用前後檢查，使用者確認：_____)

(8) 填寫使用者記錄本

注意事項：

1. Recipe 99 為 clean run 總製程時間為 40min，執行 clean run 前，請確認預約之機台時間是否足夠，使用者務必將機台時間約滿，切勿在使用機台期間讓卡機因預約時間到期而斷電，如因此狀況造成機台損毀，需負擔部分維修費用。
2. 當機台 run 到 Wait stable He gas 時，需注意 He flow 值要小於 3，大於 3 代表靜電吸附異常，執行下去恐有掉片在 chamber 內的問題，請按下 Stop 暫停製程，並通知工程師處理。
3. 機台上後方設有毒化物氣體偵測系統，如發現上面有值即代表異常，無論數值大小都屬於異常狀況，請按下 Stop 暫停製程，並通知無塵室內所有使用者進行疏散到無塵室外，並通知工程師處理。



4-2. 安全議題

氯氣為具高毒性及腐蝕性之氣體，建置氯氣管需要有相對應之安全系統，以維護使用者之安全，本中心依據特殊氣體所需之安全規範，參考半導體廠商與台灣半導體研究中心（TSRI）之規範，建立自動化偵測之氯氣管線與其安全系統：

(1) 特殊氣體管線：

- 1.製程腐蝕性氣體(三氯化硼、四氯化矽、氯氣)管線採 SUS316L EP(VIM+VAR)雙套管配置。
- 2.三氯化硼(BCl_3)、四氯化矽(SiCl_4),外包覆加熱帶及保溫管。
- 3.腐蝕性製程氣體工法採自動焊接，管材為 316L-EP(VIM+VAR)，在開關及減壓閥須採 VCR 式接頭。
- 4.鋼瓶排氣配管工法，採自動焊接，管材為 304L-AP，在開關閥採用卡套式接頭。
- 5.氣密試驗---工作壓力乘以 1.2 倍，氯氣壓力 8 公斤，24 小時無壓降。

(2) 安全偵測系統（外洩偵測自動斷氣）：

- 1.傳送器可操作溫度範圍廣(-40~65°C或更大)、操作濕度範圍廣(0~100% RH)、訊號輸出範圍廣(4-20mA 或更大範圍)、可防無線電干擾(CE MARK 89/336/EWG)、具防爆等級(IEC Ex EExia IICT6)及防水等級(IP 67)，外殼材質為玻璃纖維增強塑料、可單人校正。
2. BCl_3 & SiCl_4 、 CL_2 偵測頭偵測範圍大(0~10 ppm 或更大範圍)、反應時間短($T_{20} < 60$ 秒)、偵測頭壽命可大於 36 個月、具溫度補償功能。
- 3.類比數位控制器至少可接收 8 組類比訊號、至少具備 4 組數位輸出訊號。

- 4.電子薄膜式幫浦具 LED 燈號及 Dust Filter 過濾器、電磁閥外洩偵測自動斷氣。
- 5.電腦&圖控軟體可由不同電腦同時顯示現場實際濃度。
- 6.三色警示燈蜂鳴器偵測到氣體可立即作動通知疏散。

(3) 廢棄處理系統:

- 1.本機台產生的廢氣將經過廢氣處理系統處理後至頂樓排放

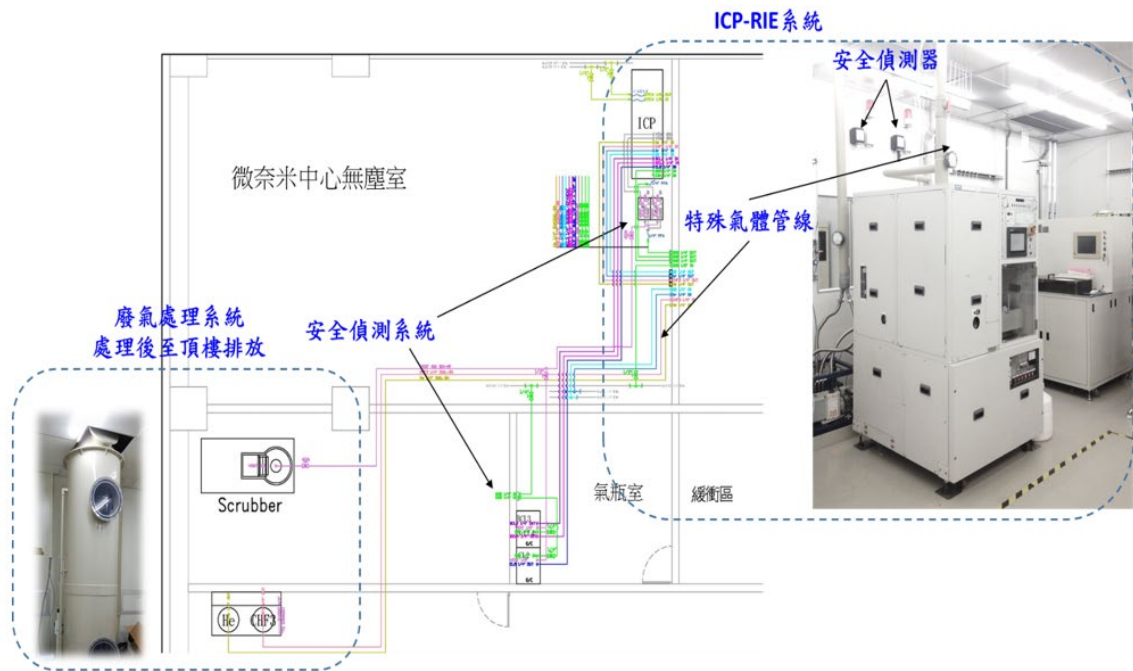


圖 4-1、機台安全系統配置圖

5、附件資料

I. 相關鏈結：

http://samco-ucp.com/products/01_etching/02_icp/ (Samco 官網)

II. 參考文獻：

[1]張景學, 半導體製程技術, 文京圖書公司

[2]Minghao Qi (2016), "ECE 695Q Lecture 47: Dry Etching II, <https://nanohub.org/resources/25162>

[3]Cardinaud, Christophe; Peignon, Marie-Claude; Tessier, Pierre-Yves (2000-09-01). "Plasma etching: principles, mechanisms, application to micro- and nano-technologies". Applied Surface Science. Surface Science in Micro & Nanotechnology. 164 (1–4): 72–83.

[4]野尻一男, 半導體乾蝕刻技術, 倪志榮譯

[5].S.J. Pearton¹, R. J. Shul² and Fan Ren³, A Review of Dry Etching of GaN and Related Materials, y, November 16, 2000

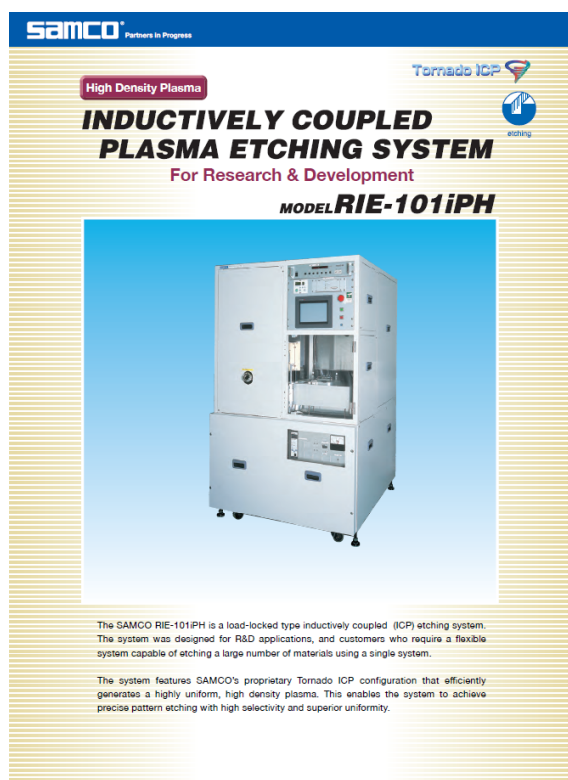
[6]S. Zhou, B. Cao, and S. Liu, "Dry etching characteristics of GaN using Cl₂/BCl₃ inductively coupled plasmas," Appl. Surf. Sci., vol. 257, no. 3, pp. 905–910, Nov. 2010.

[7]L.Sha,J.PChang,J.Vac.Sci.Techol.A(1),pp 88-95(2004).

[8] Yuning Zhao and Patrick Fay ,”Inductively coupled plasma etching of through-cell vias in III–V multijunction solar cells using SiCl₄ /Ar,” Cite as: J. Vac. Sci. Technol. B 31, 06FF05 (2013); <https://doi.org/10.1116/1.4822015>

[9] Silicon VLSI Technology by Plummer, Deal and Griffin

III. 原廠機台資料：



The advertisement for the SAMCO RIE-101iPH is presented on a yellow background with a blue header and footer. The header features the SAMCO logo and the tagline "Partners in Progress". The main title "INDUCTIVELY COUPLED PLASMA ETCHING SYSTEM" is in large, bold, black letters, with "For Research & Development" in smaller red text below it. The model name "MODEL RIE-101iPH" is in bold black text. A central image shows the white, industrial-grade etching system with a transparent viewing window. To the right of the image is a small "Tornado ICP" logo. Below the image, two paragraphs of text describe the system's capabilities and features.

High Density Plasma

INDUCTIVELY COUPLED PLASMA ETCHING SYSTEM

For Research & Development

MODEL RIE-101iPH

The SAMCO RIE-101iPH is a load-locked type inductively coupled (ICP) etching system. The system was designed for R&D applications, and customers who require a flexible system capable of etching a large number of materials using a single system.

The system features SAMCO's proprietary Tornado ICP configuration that efficiently generates a highly uniform, high density plasma. This enables the system to achieve precise pattern etching with high selectivity and superior uniformity.

INDUCTIVELY COUPLED PLASMA ETCHING SYSTEM MODEL RIE-101IPH

Features

- Proprietary Tornado ICP coil delivers highly uniform, high density plasma, achieving uniform and precise etching with high selectivity.
- Stainless steel Reaction Chamber and Load Lock Chamber for reduced corrosion and ease of maintenance.
- Wealth of spare ports for optional analytical instruments.

Applications

- Etching of GaN, GaAs, and other compound semiconductor films.
- Anisotropic etching of silicon based films.
- Etching of metal films.

SUS Chamber



Stainless steel chamber with multiple spare ports allows the use of multiple analytical instruments.

Specifications

Reaction Chamber	SUS 304, inner diameter $\phi 309.5\text{mm}$
Sample Stage	SUS 304, $\phi 106\text{mm}$, (Aluminum for ESC)
Load lock Chamber	SUS 304, 451 (W) $\times$ 308 (D) $\times$ 146 (H) mm
ICP RF Power	13.56MHz, crystal oscillation, Max. 1kW, automatching
BIAS RF Power	13.56MHz, crystal oscillation, Max. 300W, automatching
Vacuum Gauges	R. Chamber : diaphragm gauge 1 ($1.33 \times 10^{-1} \sim 1.33 \times 10^{-3}\text{Pa}$)
	diaphragm gauge 2 ($1.33 \times 10^{-3} \sim 1.33 \times 10^{-5}\text{Pa}$)
	ion gauge ($1.3 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-5}\text{Pa}$)
Vacuum System	L.L. Chamber : pirani gauge ($2.7 \times 10^{-2} \sim 4 \times 10^{-1}\text{Pa}$)
	R. Chamber : turbo molecular pump (800L/sec)
	+ rotary pump1 (275/330L/min)
Operation Method	Touch panel, Recipe management
Dimensions	1130 (W) $\times$ 1270 (D) $\times$ 1914 (H) mm

Utility Requirements

Power Supply	AC 200V, 3 ϕ , 60A
Cooling Water	Above 2L/min for the electrode
	Above 5L/min for the chamber
Exhaust Ducts	Main body
	Gas box
Gas exhaust	NW25 from two rotary pumps
Process Gases	0.1MPa(G)
Compressed Air	0.5~0.7MPa(G)
N ₂	System 0.1MPa(G)
	DRP 0.05~0.1MPa(G)

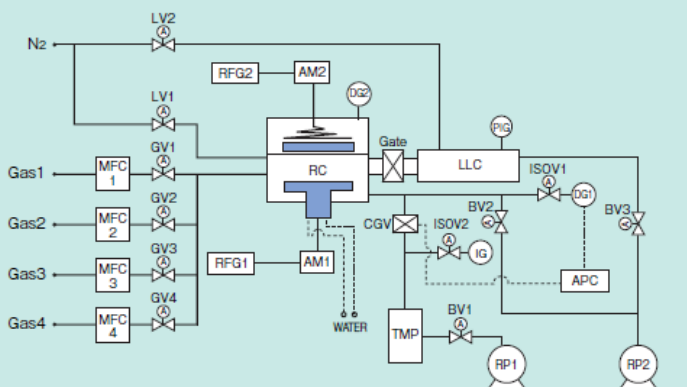
Options

- Substrate cooling mechanism
- End point detector
- Additional gas lines
- Oil filtration system

▲ Please contact SAMCO for details regarding other options.

Flow Sheet

MFC	1~4	Mass Flow Controller
GV	1~4	Gas Inlet Valve
LV	1,2	Leak Valve
BV	1~3	Exhaust Valve
CGV		Control Gate Valve
ISOV	1,2	Isolation Valve
DG	1,2	Diaphragm Gauge
IG		Ionization Gauge
PIG		Pirani Gauge
TMP		Turbo Molecular Pump (800 L/sec)
RP	1,2	Rotary Pump (275/330 L/min)
AM	1,2	Auto Matching Unit
APC		Automatic Pressure Controller
RFG	1	RF Generator (Max.300W)
RFG	2	RF Generator (Max.1kW)
RC		Reaction Chamber
LLC		Load Lock Chamber



Japan (Headquarters)	36 Waraya-cho, Takeda, Fushimi-ku, Kyoto 612-8443 Japan Phone : 81-75-621-7841 FAX : 81-75-621-0936 E-mail : iti@samco.co.jp	www.samcointl.com
USA	532 Weddell Drive, Suite 5 Sunnyvale, CA 94089 USA Phone : 1-408-734-0459 FAX : 1-408-734-0961 E-mail : info@samcointl.com	
Taiwan	17F-8 Empire Commercial Bldg. 295 Kuang-Fu Rd., Sec. 2 Hsinchu 300 Taiwan, R.O.C. Phone : 886-3-516-5100 FAX : 886-3-516-5101 E-mail : samcotw@ms72.hinet.net	
China	Room No.1410, Shanghai Overseas Chinese Mansion, 129 West Yan'an Road, Shanghai 200040 China Phone : 86-21-6249-4662 FAX : 86-21-6249-4663 E-mail : samcoshanghai@163.com	
Korea	102-603 Daewoo Worldmark, #996-3, Yeongtong-Dong, Yeongtong-Gu, Suwon-city, Gyeonggi-Do 443-813 Korea Phone : 82-70-8252-7841 FAX : 82-31-205-7842 E-mail : yun-teson@samco.co.jp	

1008-1K-1