

# 儀器設備技術手冊與 訓練教材

# 前瞻聚焦離子束系統 (Dual-Beam Focused Ion Beam System)

撰寫人: 梁美蘭 2022 年 10 月 31 日

# 目 錄

1. 前言簡介 (設備名稱 / 廠牌 / 型號)	P.3
2. 背景知識與原理	P.3
2.1 引言 2.2 原理	P.3 P.3
3. 機台介紹	P.7
<ul><li>3.1 外觀與硬體架</li><li>3.2 規格與功能</li></ul>	P.7 P.8
4. FIB 主機台操作	P.9
<ul> <li>4.1 FIB 主機台軟體介紹</li> <li>4.2 FIB 主機台操作步驟</li> <li>4.3 Cross section 試片製作範例</li> <li>4.4 TEM 試片製作範例</li> <li>4.5 Cross section 影像拍攝範例</li> <li>4.6 Alarm 處理方</li> </ul>	P.9 P.24 P.28 P.33 P.38 P.39
5. X 光能量分散光譜儀(EDS)操作步	P.43
<ul> <li>5.1 樣品準備</li> <li>5.2 EDS_Analyzer 操作步驟</li> <li>5.3 EDS_Point &amp; ID 操作步驟</li> <li>5.4 EDS_Line scan 操作步驟</li> <li>5.5 EDS_Map 操作步驟</li> <li>5.6 EDS_Report 操作步驟</li> <li>5.7 注意事項</li> </ul>	P.43 
6. 認證標準	P.60
7. 應用與實際範例	P.63
8. 參考資料	P.67

### 1. 前言簡介

1.1 廠牌: Thermo Fisher Scientific Inc. 賽默飛世爾科技(原 FEI 美商飛昱科技股有限公司台灣 分公司)

1.2 型號: Helios NanoLab G3 CX

1.3 維修服務專線: 02-77374097

1.4 附屬設備: EDS Oxford Instruments INCAEnergy X'max<sup>N</sup> 150mm<sup>2</sup> 剋傑科技股份有限公司。

# 2. 背景知識與原理

2.1 引言

隨著奈米科技的發展,奈米尺度製造業發展迅速,奈米加工為奈米製造業的核心部分,而奈 米加工的代表性方法就是聚焦離子束。聚焦離子束 (Focus Ion Beam, FIB),利用高強度聚焦離 子束對材料進行奈米加工,搭配掃描式電子顯微鏡 (SEM)的觀察,成為了奈米級分析與製造 的主要方法。隨著半導體元件微小化與 3D 化,現行的材料分析技術也面臨極大的挑戰。根據 2012 年 ITRS 修正的預測,半導體製程在 2019 年達到 11nm。目前半導體製程所製作之結 構,由於 SiO2 和 SiON 開極已達到 1-2nm 的通道厚度限制,進入 28nm 製程後,半導體代 工廠開始大量採用金屬開極-高介電層組合,為因應電性與製程搭配的問題,金屬開極的結構並 非單層金屬,而是奈米多層結構,這些多層結構的薄膜厚度< 3nm,如此薄度的薄膜,其他分析 技術都無法解析,只剩下可解析至單層原子的穿透式式電子顯微鏡(TEM/STEM)可分析,而 FIB 是目前製作定點半導體 TEM 試片的唯一工具。隨著電腦運算能力的加速和機械精密加工的進 步,近幾年新型 FIB 的影像解析度已可達 1~2nm,而且功能一再加強。FIB 兼具臨場橫截面、 平面分析、定點 TEM 試片製作、微奈米圖案與元件製作與 IC 線路修補等重要功能於一機,可 說是廿世紀新開發的指標性儀器之一。

2.2 原理:

聚焦離子束系統是利用電透鏡將離子束聚焦成非常小尺寸的顯微切割儀器,目前商用系統的離子束為液相金屬離子源(Liquid Metal Ion Source,LMIS),金屬源為鎵(Gallium,Ga),因為鎵元素具有低熔點、低蒸氣壓、及良好的抗氧化力。典型的離子束顯微鏡包括液相金屬離子源、電透鏡、掃描電極、二次粒子偵測器、5軸向移動的試片基座、真空系統、抗振動和磁場的裝置、電子控制面板、和系統電腦等硬裝置。

聚焦離子束簡單說即將 Ga(鎵)元素離子化成 Ga<sup>+</sup>,利用電場加速與靜電透鏡(electrostatic) 聚焦,將高能量的 Ga<sup>+</sup>打到指定的點,基本原理與 SEM 類似,僅所使用的粒子不同(e<sup>-</sup> vs.Ga <sup>+</sup>),透鏡型式(磁透鏡或靜電透鏡)位置不同。FIB 之 Ion Column 構造如圖 2.1 (參考 FEI Vectra 986+ Column),以下將針對 Ion column 各構造分別詳細說明。



圖 2.1 (參考資料 8.5)

2.2.1 Source: LMIS(liquid metal ion source)

提供 Ga 元素之離子源;如圖 2.2 所示,左右兩金屬棒作為電壓輸入與加熱,用"V 字形" 鎢(W)線連接與支撐,被支撐物上部為似彈簧之螺旋型,即為 Ga 存放之處;下方為一針 狀結構,最下方則為放射尖端,可使液態鎵形成細小尖端,加上負電場(Extractor) 牽引尖 端的鎵,而匯出鎵離子束。



LMIS(FEI CO.)

圖 2.2 (參考資料 8.5)

#### 2.2.2 suppressor / extractor

將離子源離子化並控制離子源之發射量。利用 Extractor 與 LMIS 間的電位差,在 Source 尖端形成高電場,Ga 在金屬表面汽化(evaporating),高電場造成 Ga 解離,Ga<sup>+</sup>在高電場 的作用下往 Extractor 移動;Suppressor 功用為調整 Emission 的大小,利用靠近 Source 尖端的電極改變附近的電位分布,用以調整發射量。另一功用為因設備將 LENS 1 上極板 與 Extractor 相接,此可避免利用 Extractor 調整發射量會影響整個聚焦系統。

2.2.3 spray aperture

僅取中間較集中及平行的離子束使用;另測得 extractor current 用以確保 source 維持穩定的發射量。

2.2.4 Lens 1 與 limiting apertures

Len 1 為靜電透鏡; limiting aperture 可想像成一鐵片上面開了數 um 到百 um 不同孔徑的小孔,利用不同的孔洞大小,與 Lens 1 共同決定作用於樣品之離子束大小。圖 2.3 顯示如何決定作用於樣品 beam 的大小;Len1 調整 beam 至 Aperture 時的電流密度(current density),再加上孔洞大小可決定實際的 beam 大小。



圖 2.3 (參考資料 8.5)

2.2.5 stigmator

利用極板調整離子束減少 astigmatism 像差,Astigmatism (散光像差)是因離子束的不對稱 (可能為 LENS1 造成) 造成在兩互相垂直平面之聚焦落在不同點上,所以需用散光像差補償 器(stigmator)調整。圖 2.4 為 stigmator 的工作原理,切面觀察就是將不是正圓的離子束,利 用對稱極板將其修正為正圓。



圖 2.4 (參考資料 8.5)

#### 2.2.6 Column Isolation Valve

區隔 Column 與 Chamber 之真空,以利樣品進出 chamber 或維修時,仍能保持 column 之真空度。

2.2.7 blanking deflectors & blanking aperture

實際作用於樣品的離子束大小。如圖 2.5 所示,利用 blanking deflector 加一偏壓將 beam 偏折,打在 blanking Aperture 上,此設計有以下兩種功用:

- a. 量測實際使用於樣品的 beam 大小。
- b. 因為高壓的 On/Off 無法立即切換,當不需將 bam 打在樣品上時就將其打在 Blanking Aperture 上。



圖 2.5 (參考資料 8.5)

- 2.2.8 deflector: Raster scanning (參考成像) / shift beam(panning) / image rotation。
  利用八個極板所產生的推拉力,決定離子束打到樣品的位置,功能包括:
  - a. Image Scan:設定倍率決定掃描範圍及成像。
  - b. Pattern Scan:在所指定的 pattern 範圍掃描,用以蝕刻或沉積所指定的 pattern 形狀。
  - c. Beam Shift:用於移動小距離的影像或 pattern scan,用於補償 stage 之機械誤差。
  - d. Image Rotation:旋轉影像,在機台無法旋轉樣品的情況下,可以利用改變掃描角度造成影像旋轉。

圖 2.6 分別顯示: Deflector 工作原理、Pattern Scan 與 Image Rotation



圖 2.6 (參考資料 8.5)

2.2.9 lens 2: 第二次聚焦,使離子束聚焦於樣品上。

# 3. 機台介紹

3.1 外觀與硬體架構:如圖 3.。



圖 3.

3.2 規格、功能與服務項目

		規格		
;	組別	貴儀組	微奈米組	
機台名稱		FIB II (前瞻聚焦離子束系統)	FIB1(雙束型聚焦離子束)	
	型號	Helios NanoLab G3 CX	Nova 200	
	<b>ム</b> 油 索 厭	200V~30KV	200V~30KV	
雪工拾	加还电坚	(Elstar's immersion mode)		
电了唱	韶长府	0.8 nm @ 15 KV @optimum WD	1.5 nm @ 30 KV @optimum WD	
	肝机反	1.4 nm @ 1 KV @optimum WD	2.5 nm @ 1 KV @optimum WD	
	型態	Gallium liquid metal	Gallium liquid metal	
	Source	1000br (bigber cost)	1500br (low cost)	
	life			
離子槍	加速電壓	500V~30KV	1KV~30KV	
	解析度	4 nm @30KV	7 nm @30KV	
	Beam	65nA~1pA	20nA~1pA	
	current	(15 position aperture strip)	(15 position aperture strip)	
Pumping		Two-stage pumping	One-stage pumping	
		Axis 5-axis motorized	Axis 5-axis motorized	
載台 (Stage)		Tilt : -15~ 90 degree	Tilt : -10 ~ 60 degree	
		X- Y- axis: 110mm	X- Y- axis: 50mm	
輔助沉積氣(GIS)		Pt, C	Pt, C, XeF2, I2	
腔體內 TEM 試片		Wiprobe	W/ probe	
取出設備		(Easy lift can rotate)	(Omni probe can't rotate)	
(In-situ lift out)				
		ETD: detect SE, BSE	ETD: detect SE, BSE	
值測哭	(Detector)	In lens TLD: detect SE, BSE	In lens TLD: detect SE, BSE	
沃尔品		ICE : detect SI, SE		
		MD: detect BSE		
x-rav 🕯	X-ray		Silicon Drift 50mm <sup>2</sup>	
(E	E重分成成 EDS)	MnKα 解析度≦129 eV	MnKα 解析度≦129 eV	
		功能與服務項目		
1. 超高	解析定點縱	<ul><li> (剖面切割:利用粒子的物理碰撞來達)</li></ul>	到切割之目的,可切割之最小線	
寬約	) 20nm ∘			
<b>2.</b> 特殊	圖形製作。			

- 選擇性的材料表面蒸鍍處理:以Ga離子束的能量分解有機金屬蒸氣,並在局部區域 做金屬導體的沉積,除可提供沉積應用外,同時可保護被切割處附近結構之完整。目 前可提供有鉑(Pt)和碳(C)兩種沉積層。
- 4. TEM 試片準備:可製作橫截面或平面 TEM 試片。
- 5. 元素成份分析。

# 4. FIB 主機台操作

- 4.1 FIB 主機台軟體介紹
  - 4.1.1 Menu bar

Import

Export Log Off factory Exit

	-	🛊 FEI 🔷 🔻	<u>F</u> ile	<u>E</u> dit	<u>D</u> etectors	S <u>c</u> an	<u>B</u> eam	<u>P</u> atterning	S <u>t</u> age	<u>T</u> ools	<u>V</u> iew	<u>H</u> elp
4.1	.1.	1 File Mer	าน									
				_	mport / Exp	oort:	可輸出國	<b>匪入的參數</b> 5	加下			
	8	File Edit Dete Open	ctors Scan	1	Stage Pc	sitions	: *.stg	files				
		Save Save As	Ctrl+S	1	Patterns	: *.ptf	files 儲	存常用的pa	attern			
	•	Save All Record Movie	Ctrl+Shift+S Ctrl+Shift+M		• End-Poir	nt Moni	tor Grap	hs∶* <i>.epn</i>	n files			
		Print	Ctrl+P	/	Scanning	Prese	ets∶*.s	cp files				

• Display Presets : \*.qps files

• System Parameters:\*.par files,可點選以下表格個人常用的參數條件;再利用 Import/Export 儲存個人常用的條件。

Image: SEM Conditions       Image: Fill Conditions       Image: Stage Positions       Image: Stage Positions       Image: Presets       Image: Stage Positions       Image: Stage Positions <t< th=""><th>Parameter</th><th>Value</th></t<>	Parameter	Value
✓ FIB Conditions           ✓ Stage Positions           ✓ Presets           ✓ Display Presets           ✓ Column Presets           ✓ Scanning Presets           ✓ Workspace           ✓ User Preferences           ✓ MUI Sensitivity           ✓ Multi Sensitivity           ✓ Magnification           ✓ Easylift           ✓ Ørsets	SEM Conditions	
☑ Stage Positions       ☑ Presets       ☑ Display Presets       ☑ Colum Presets       ☑ Scanning Presets       ☑ Workspace       ☑ User Preferences       ☑ MUI Sensitivity       ☑ Alignments       ☑ Lagrification       ☑ Easylifit       ▷       ☑ Initia	FIB Conditions	
Image: Constraint of the sector of	Stage Positions	
Image: Second	Presets	
Ø         Ø Column Presets           Ø         Ø Scanning Presets           Ø         Ø Hetren Presets           Ø         Workspæce           Ø         Ø MUL Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity           Ø         Mul Sensitivity	Display Presets	
Image: Scanning Presets	Column Presets	
Image: Section 2 and	Scanning Presets	
₩ Workspace     ₩ User Preferences     ₩ User Strivity     ₩ Alignments     ₩ Agnification     ₩ EasyLift     ₩ Densets     ₩ Densets	Pattern Presets	
Image: Constraint of the second sec	Workspace	
Image: WUI Sensitivity           Image: WII Sensit	User Preferences	
Image: Second	MUI Sensitivity	
Magnification     EasyLift     Ø Presets     Ø     Onits     Ø	Alignments	
EasyLift     Ø     Presets     Onits     Ø	Magnification	
Very Presets Very Units Very Second Presets Very Very Very Very Very Very Very Very	EasyLift	
Vnits	Presets	
1 III Comming	Units	
v Scanning	Scanning	
General	General	

#### 4.1.1.2 Detector Menu

De	tectors Scan Beam P
1	ETD (SE)
	TLD (SE)
	ICE (SE)
	ICD
	STEM 3+ (Bright Field)
	MD
	External
	CCD
	Mix

Detector	E-beam	I-beam	Detected signal
ETD	yes	yes	SE, BSE, Custom
TLD	Yes, in Mode 2 only with magnifications > 3500X	no	SE, BSE, Custom
ICE	yes	yes	SE, BSE, SI(secondary ion), Custom
MD	yes	no	BSE

◆ ETD (Everhart Thornley Detector): 可調整 grid voltage 增加其訊號強度。

SE: +250V, BE: -150V (當voltage是負的,只有BE被偵測)。



◆ TLD (Through Lens Detector): 可調整 suction tube voltage (-150V~ +150V)增加 其訊號強度;當voltage是負的,只有BE被偵測。



◆ ICE (In Chamber Electronics Detector): 可調整 grid voltage 增加其訊號度;

正的Grid voltage為SE影像;負的Grid voltage為BSE、SI影像

Converter: 0	為SE	、BSE影像	; 負	的Converter為	らSI景	彡像
--------------	-----	--------	-----	-------------	------	----

Detector Settings			Secondary Electrons	-
Detector	ICE	-	Secondary Electrons	
Mode	Secondary Electrons	-	Backscatter Electrons	
	<u> </u>	600.0 V	Custom	
Grid	•		Secondary Ions	•
Scintillator	•	10.0 kV	Secondary Electrons	
		o v	Secondary Ions	
Converter	•	•	Custom	

◆ MD (Mirror Detector) : 偵測BSE訊號,僅能在E-beam下使用。

Detector Settings		?
Detector	MD	•

#### 4.1.1.3 Scan Menu

- ◆ Pause:暫停執行pattern。
- ◆ Snapshot:快速掃描擷取影像。
- ◆ Photo: 慢速掃描擷取照片。
- ◆ Videoscope (F3):顯示影像亮度與對比強度。
- ◆ Reduced Area (F7): 縮小視窗。
- ◆ Full Frame (F5): 整個視窗。
- ◆ Spot / line: beam為點/線狀。
- ◆ Slow/ fast / slower / faster scan:調整掃描速度。
- ◆ Line Integration:可改善 charging 的現象,

當有啟用時則會在掃描頻率處顯示如下圖。



Sc	an Beam	Patterning	Stage	I OOIS V
Ш	Pause			F6
6	Snapshot			
۵	Photo			F2
	Active Preset Si	napshot		Ctrl+F2
M	Videoscope			F3
	Reduce Area			F7
1	Full Frame			Ctrl+M
	Spot			Ctrl+K
	Line			
	External			
9	Beam Blank			Ctrl+B
9	Slow Scan			Ctrl+Shift+","
۲	Fast Scan			Ctrl+Shift+"."
	Slower Scan			Ctrl+","
	Faster Scan			Ctrl+"."
	Mains Lock			
	Line Integration	n (Off)		•
	Scan Interlacing	g (Off)		•
	Live			
68	Average (4 fran	nes)		,
₽	Integrate (2 fra	mes)		•
*	Alternate Electr	on/Ion Scanning	,	Ctrl+Shift+A
	Scan Rotation			Shift+F12
\$	Preferences			Ctrl+Alt+S

◆ Scan Interlacing: 會以跳著scan的方式掃描,以降低charging 的現象,當有啟用時 則會在掃描頻率處顯示如下圖, overall frame time不能超過300ms。



- ◆ Alternate Electron / Ion Scanning: E / I beam交替掃描,交替頻率由掃描頻率決定。
- ◆ Scan Rotation: E-beam 或I-beam影像旋轉, stage 不轉。



◆ Preferences:可設定以下參數,常用的...

Movie	Search		
Alignments	Alignment	Visible	
Magnification	18 - Accurate Stage Rotation Centre Alignment		
EasyLift	210 - ION: Beam Alignment		
Sensitivity	253 - Supervisor: Ion Beam	<b>V</b>	
Scanning	Emitter Startup	<b>V</b>	
Pattern Applications	E-column: User Alignments	V	
Presets	E-column: Aperture Map Selection	V	
Unite	External Plasma Cleaning	V	
Concerned and Co	Vacuum Actions	<b>V</b>	
General	Plasma Cleaning	V	
	Magnification Correction	<b>V</b>	
	Stage Alignments	V	
	E-column: Auto U-Mode Source Centering	V	
	E-column: Supervisor Alignments		
	I-column: Manual Beam Alignments	<b>V</b>	
	U-Mode Aperture Selection	<b>V</b>	
	+ EOV Stopp Rise	120	

a. Movie:可設定檔案儲存格式、頻率;檔案路徑需在sample exchange (4.1.2.1) 處

Movie	Movie Timer
	Save AVI Movie Period: 50 ms * (20 stills/s)
	Save TJF images Period: 2 s • (1 TJF/ 40 movie stills
	File Settings
	File Name Movie •
	Save in C\temp\
	File Type AVI video compress RLE (*.avi)
	Numeric Seed 2
	Video File Size 200 MB
	E Record Databar

# b. Magnification :

- ◆ Active:顯示即時影像的倍率
- ◆ Single image mode:單一視窗或四視窗皆顯示單一倍率。
- ◆ Quad image mode: 會顯示4-視窗的倍率。
- ◆ Keep Screen and File/Print settings synchronized:表示掃描與存檔會同一倍

率。

Movie	Screen Preferences:	File/Print Preferences:
Alignments	Real arread size	Real screep size
Agnification	Active view	Active view
asyLift	Single image mode	Single display mode
attern Applications	Quad image mode	O 4 display mode
ensitivity	© Polaroid 5"	Polaroid 5"
icanning		William de la vide
	<ul> <li>User device width</li> </ul>	W User device width

c. Pattern Applications: 可點選想要在下載至頁面的application file。

Pattern Applicatior	ns Settings		
Movie Alignments Magnification EasyLift Sensitivity Scanning Pattern Applications Presets Units General	<ul> <li>✓ none</li> <li>✓ Al</li> <li>✓ Au</li> <li>✓ C, M</li> <li>✓ C, M. Pelayering</li> <li>✓ Fc203</li> <li>✓ GAAs</li> <li>✓ H20, M</li> <li>✓ Idep2, M</li> <li>✓ Idep3, M</li> <li>✓ Idep3, M</li> <li>✓ Idep3, M</li> <li>✓ Idep3, M</li> <li>✓ PL, M</li> <li>✓ PL, M</li> <li>✓ PL, M. e-dep structures</li> <li>✓ PL, M. e-dep structures</li> <li>✓ PL, M. edep</li> <li>✓ PL, M. weld</li> <li>✓ PL, M. Celli Navigator</li> <li>✓ SCE, M.</li> </ul>	Drag items to reorder them	Default
		OK Apply	Cancel

d. Sensitivity settings:可設定MUI旋鈕的靈敏度。

Sensitivity Settings	5	
Movie Alignments Magnification	쓢 Electron Beam MUI	
EasyLift Pattern Applications Sensitivity	Contrast	Coarse Focus
Scanning Presets	Brightness	Fine Focus
Units General	Stigmator - + 2.0	Beam Shift
		Default

e. Scanning: 設定不同preset的掃描參數。

preset list	Movie Alignments		ectron Beam			Presets	
Fast scan	Magnification EasyLift Sensitivity	• • • • • • • • • •	5 ns 0 ns 00 ns 00 ns	Snapshot Preset (F4) Dwell Time Line Integration	300 ns	Property	
	Scanning Pattern Applications Presets	3 5 1 3	00 ns 00 ns μs μs	Resolution Line Time Frame Time Refresh Rate	252.3 µs 129.2 ms 7.74 Hz	euitor	
Slow scan Snapshot	Units General	5	μs Ο μs Ο μs Ο μs	Integrate Bit Depth Drift Correction Continuous Scan	1 8 bit Yes No		•
scan Photo scan		• 107 3 101 4	00 ns 5 μs	Action Display	Save Display 1		
						Defau	ult

f. Preset: 可在E-beam或I-beam設定常用的倍率,不同的電壓可設不同的倍率, 其會顯示在tool bar的倍率上。

Movie	🔅 Electron Beam			
Alignments Magnification EasyLift Pattern Applications Sensitivity Scanning Presets	High Voltage 1.00 kV 2.00 kV 3.00 kV 5.00 kV 10.00 kV	Magnification	🎯 Ion Beam	
Presets Units General	15.00 kV 18.00 kV 20.00 kV 25.00 kV 30.00 kV	Algoments Magnification EasyLift Pattern Applications Scanning Presets Units General	High Voltage 0.50 kV 1.00 kV 2.00 kV 5.00 kV 8.00 kV 16.00 kV 30.00 kV	Magnification 50 X 500 X 500 X 1000 X 5000 X 10000 X 10000 X 30000 X 30000 X

g. Unit:單位設定。

Units Settings			
Movie Alignments Magnification EasyLift Pattern Applications	Measure: Pressure:	Millimeter [mm] Pascal [Pa]	•
Sensitivity			
Scanning			
Presets			
Units			
General			

# 4.1.1.4 Beam Menu:請勿使用。

#### 4.1.1.5 Pattern Menu



- ◆ Start Patterning in Display #1:執行pattern。
- ◆ Reset Patterning in Display #1: 重新啟動執行pattern。

Next Pattern: 若同時有好幾個pattern,按 next pattern 則會停止目前的pattern,執

行下 一個pattern。

- ◆ Next Line: 若使用 cleaning cross- section,按此可直接執行下一刀。
- ◆ Previous Line: 若使用cleaning cross- section,按此可執行前一刀。
- ◆ Sleep After Patterning:執行完pattern, E/I beam皆會自動sleep。 Autos tart Real Time Monitor (RTM):自動掃描並儲存影像。

 ◆ Auto-Start/Stop Electron Acquisition for iSPI: 啟動 iSPI( intermittent switching between patterning and imaging ), E-beam會自動慢速掃描並更新mill後之影像。

iSPI Monitor 🔳	Charge Neutralizer	Progress
🔲 On	Pause	🔲 Save
Time Interva	al - + 20 ms	
CCS Line Interva	al - + 1.0	

On: 啟動 iSPI

Save: 儲存影像,可以由 **Preferences** / **Movie** section 設定影像參數 Time Interval: 擷取影像之頻率

CCS Line Interval: 使用 Cleaning pattern 時,設定幾刀擷取一張影像

- ◆ Live RTM after Snapshot:在snapshot之後,RTM 自動繼續啟動。
- ◆ Blackout Pattern Area for RTM:背景變黑,使其表面影像變明顯。

# 4.1.1.6 Stage Menu

Sta	ige	Tools	View	Help	
	Aligr	Feature			
	Com	pucentric	Rotation		F12
	Defir	ne User Ur	nits		
	User	Units			
	Bean	n Shift Res			
	Auto Beam Shift Zero				
	Hom	e Stage			Shift+F3
	Hom	e Stage W	ithout Rot	ation	
	Cent	er Positior	ı		Ctrl+0
	Exter	nal Currer	nt Measure	ement	
ጆ	Unlir	nk Z to FW	'D		
$\overline{\mathbb{X}}$	Link	Z to FWD			
	Enab	le Z-Tilt M	lap		
1	Enab	le Safe Sta	ge Moves		
	Tilt C	٥			Ctrl+E
	Tilt 5	2°			Ctrl+I
	Easy	Lift			Ctrl+J
	Sam	ole Naviga	tion		Ctrl+N
	Navi	gation Mo	ntage		
	Navi	gation Alig	nment		
	Mov	e Stage to	Nav-Cam		
	Take	Nav-Cam	Photo		Ctrl+Shift+Z
	Rest	ore Last N	av-Cam Pł	noto	

◆ Align feature:可以選擇以stage image拉水平或垂直。

Move points or line by	dragging them
Position 1	Position 2
X = -354.167 μm	X = 201.823 μm
Y = 182.292 µm	Y = 72.917 μm
	Angle 11°
Use:	Orientation
Stage Rotation	O Horizontal
Scan Rotation	Vertical

- ◆ Compucentric Rotation (F12):以所觀測的feature當中心旋轉stage,若沒有選擇此項目,則以stage中心旋轉。
- ◆ Define User Units: 定義單位。
- ◆ Beam Shift Reset: beam shift 歸回中心點。
- ◆ Home Stage: stage 五軸歸位 (X=0, Y=0, Z=0, T=0,R=0)。

X		-0.0144 mm		4
ΠY		-0.0050 mm		-14
Z	+	0.0002 mm		-12
T		0.0 °	-	4
R		0.0 °		-14

- ◆ Home Stage without Rotation: 針對較大試片當stage 歸位時,可能旋轉stage會撞 到槍體內的設備,可選用R不歸位 (X=0, Y=0, Z=0, T=0)。
- ◆ Center Position (Ctrl + 0) : stage 移至 X=0, Y=0。
- ◆ Unlink Z to FWD: home位置之Z的高度。

受强摆ion beam	ຸe-heam off ສ	stane沒有	在home的位置	,	削命顯示龙岛北能
备选择IUII DEalII	、C-Deam UII 蚁	slaye及月	在IIUIIE的位息	,	<b>別 胃 顯 小 火 巴 瓜 忠</b>

此為影像尚未聚焦

7

承

聚焦已經大約接近在FWD附近,但需再精確的聚焦

完成Z軸與FWD連結

- ◆ Link Z to FWD: 試片 Z 軸與FWD 做連結
- ◆ Sample Navigation (Ctrl + N):利用此功能撷取小倍率的影像當作sample map, 在此影像點選所要的區域,stage則自動移至所選之區域。
- ◆ Navigation Montage:利用低倍照相拼圖做出sample map。

Navigation Montage	
Target HFW 4.2 mm	Map size 3 × 3
Single image HFW 1.4 mm Use actual HFW	Target Resolution       1536 × 1024
<ul> <li>Details</li> </ul>	Start
Remaining time 00:00:27 Switch off the beam when f	Elapsed time 00:00:00 inished

# 4.1.1.7 Tool Menu

Auto Contrast Brightness       F9         Auto Focus       F11         Auto Stigmator       Ctrl+F1         Sample Cleaning       B 動調整聚焦。         Set HFW       Ctrl+F1         Display Saturation       Shift+F11         Image Post Processing       Ctrl+F7         Application Status       A) 用 Plasma cleaning清潔試片,壓力大約在50Pa建議時間不         * 位置需設在 T=0, R=0, X=0, Y=50, Z=0 (stage 降到最低)         Sample Cleaning         Oursion         Sample Cleaning         * 位置需設在 T=0, R=0, X=0, Y=50, Z=0 (stage 降到最低)	10	ols View Help		
Auto Focus       F11       htness (F9): 自動調整亮度對比。         Auto Stigmator       Ctrl+F11         Set HFW       Ctrl+H         Display Saturation       Shift+F11         Mage Post Processing       Ctrl+F1         Application Status       Display Saturation         Preferences       Ctrl+O         Ctrl+O       位置需設在 T=0, R=0, X=0, Y=50, Z=0 (stage 降到最低)         Sample Cleaning       0s         State       Ready    Set HFW (Ctrl + H): 設定影像水平寬度 (Horizontal Field Widd)	<u> </u>	Auto Contrast Brightness	F9	
Auto Stigmator Ctrl+F1 Sample Cleaning Set HFW Ctrl+H Display Saturation Shift+F1 Application Status % Preferences Ctrl+O Sample Cleaning Duration 20% Elages Tree 0.5 State Ready State Ready Sample Cleaning Duration 20% Elages Tree 0.5 State Ready State Ready Sample Cleaning Duration 20% Elages Tree 0.5 State Ready State	<u>.</u>	Auto Focus	F11	htness (F9):自動調整亮度對比。
ample Cleaning Set HFW Display Saturation Shift+F11 Image Post Processing Ctrl+F7 Application Status Preferences Sample Cleaning Duration 20s Base Ready 	<u>0+</u>	Auto Stigmator	Ctrl+F11	
Set HFW       Ctrl+H         Display Saturation       Shift+F11         Image Post Processing       Ctrl+F7         Application Status       Preferences         Preferences       Ctrl+O         Ctrl+O       位置需設在 T=0, R=0, X=0, Y=50, Z=0 (stage 降到最低)         Sample Cleaning       0         Duration       20         State       Ready         State       Ready    Set HFW (Ctrl + H): 設定影像水平寬度 (Horizontal Field Widd)		Sample Cleaning		自動調整聚焦。
Display Saturation Shift+F11 Image Post Processing Ctrl+F7 Application Status Preferences Ctrl+0 Curation 20s Bapsed Time 0s State Ready 		Set HFW	Ctrl+H	<i>和</i> 山 赴 冶 平
Image Post Processing       Ctrl+F7         Application Status       ●         Preferences       Ctrl+O         Our Ferences       Ctrl+O         Our Status       ●         Our Status       Out Based T=0, R=0, X=0, Y=50, Z=0 (stage 降到最低)         Sample Cleaning       0 =         Duration       20 s         Elapsed Time       0 =         State       Ready         State       Set HFW (Ctrl + H):         State       Set HFW (Ctrl + H):		Display Saturation	Shift+F11	助調登像差。
Application Status Preferences Sample Cleaning Duration 20 s Elapsed Time 0 s State Ready State		Image Post Processing	Ctrl+F7	利用Plasma cleaning 法激封上,歐力大約左50Pa建議時間不更
Preferences Ctrl+0 △ 位置需設在 T=0, R=0, X=0, Y=50, Z=0 (stage 降到最低) Sample Cleaning Duration 20:5 Bapeed Time 0:5 Sate Ready Set HFW (Ctrl + H): 設定影像水平寬度 (Horizontal Field Wid)		Application Status		利用 doind occurring 有原或开一座力入約在oor d 建或时间不安。
Sample Cleaning Duration 20 s Elapsed Time 0 s State Ready ● Set HFW (Ctrl + H):設定影像水平寬度 (Horizontal Field Wid	\$₽	Preferences	Ctrl+O	e 位置雲設在 T=0 R=0 X=0 Y=50 Z=0 (stage 降到最低)。
◆ Set HFW (Ctrl + H):設定影像水平寬度 (Horizontal Field Wid				
	Dur Elap Stat	ration 20 s osed Time 0 s te Ready		

- ◆ Display Saturation:顯示影像過飽和(白色)會呈現藍色,不飽和(黑色)會呈現黃色。
- ◆ Image Post Processing:影像後製處理。

OK Apply Cancel

◆ Application Status: alarm、warning訊息。

## 4.1.1.8 View Menu

Vie	ew Help						
1	Center Cross	Shift+F5					
	Alignment Rectangle	Shift+F6					
	CCD Axis Marker						
1	CCD 4 mm Marker						
	Crosshair Cursor						
	Zoom Application	•					
	Redo Zoom 1.0x						
	Large Image Window	Ctrl+F5					
	Large Image Window Config	uration 🕨					
	Remote Mode						
	Full Screen						
	Single/Quad Image Mode	F5					

◆ Center Cross (Shift + F5): 顯示視窗中心點, 可當調整 eucentric height 之參考點。



◆ CCD Axis Marker: 顯示CCD X, Y, Z方向



◆ CCD 4 mm Marker:在CCD視窗顯示E-gun WD之位置。



- ◆ Crosshair Cursor:綠色十字線協助調整試片方向。
- ◆ Zoom Application:調整功能鍵顯示之大小。



- ◆ Undo / Redo Zoom:重複或復原上一個動作
- ◆ Single / Quad Image Mode (F5):單一或四個視窗之切換。

#### 4.1.2 Tool bar



# 4.1.2.1 Sample exchange: 顯示真空狀態。



4.1.2.2 Patterns / Measurements / Annotations:可以畫pattern、量測尺寸與標註記號。

		ん ビー[		-		89 89
лР	attern	s				
	/	$\bigcirc$	Ŀ	Ľ	$\bigcirc$	
<	1easur	ement	ts			
	1	<b>G</b>	÷.	⊿₀		
<b>0</b> A	nnota	tions				
Lo	10	6	+0	To		

#### 4.1.3 Preset Menu

4.1.3.1 Pattern presets :

可儲存較常用的pattern (最多6個),點選其中的PX,按滑鼠右鍵,則出現以下對話框, E/I beam 模式下皆可使用。



#### 4.1.3.2 Scan presets :

可儲存較常用的掃瞄模式(最多6個),按滑鼠右鍵,則出現以下對話框, E/I beam 模式下皆可使用。



更新 Scan 參數

#### 點選其中的Edit,則可設定其掃描參數。

Scanning presets		×
Basic Setup		
Name		
Resolution	4096×3536	•
Dwell Time	100 ns	-
Bit Depth	8 bit	-
Filter Setup		
Scan Interlace	1	
Line Integration	1	
Frame Average	4	
Frame Time	382.9 ms	
Image Acquisition		
Integrate	16	
Drift Correction	No	-
Continuous Scan	No	-
Action	None	-
Acquisition Time	6.1 s	
Shared Settings		
Mains Lock	No	
Start scan on left click	No	-

#### 4.1.4 Status bar: 顯示機台狀態

Chamber Pressure: 8.07e-5 Pa	Ion Beam Current:	0 A	Specimen Current:	0 pA	Emission Current:	🗱 218.56 μA	- 🍪 2	2.18 μA	Electron Source Pressure: 9.	73e-8 Pa
								5	2	
Electron Source Pressure: 9.73e-8 P	a Load Lock: Inde	eterminat	e		0		₩	6	6	1:33 PM

4.1.5 Pages



# 4.1.5.1 Beam control page



# 4.1.5.3 Detector Settings Page



# 4.1.5.4 Patterning Page



# 4.1.5.5 Sample Preparation Page: 結合 pattern page 與navigation page。 4.1.5.6 Direct Adjustments Page / Easy lift Page / Alignment Page: 勿用。

#### 4.1.6 Image Area

 ◆ Data bar: 可選擇所要顯示的模式,每個項目(HV, current, HFW, detector, mode) 都 可以點選改變其參數。

Selected electron imaging	*	HV 5.00 KV	curr 1.6 nA	НFW 14.9 µm	det ICE	mode SE	5 µm ────→ Helios NanoLab
Unselected ion imaging	**	HV 30.00 KV	curr 7.7 pA	dwell 50 ns	det ETD	mode SE	← 10 µm − → Helios NanoLab
Unselected optical imaging	$\mathbf{Q}$	- 3/15/201 11:56:26	IO dei AM CCI	t z D 9.9960	mm		
Selected Patterning Imaging	*	HV 5.00 KV	curr 1.6 nA	НFW 14.9 µm	det ETD	mode SE	u um
Unselected Patterning imaging	28	HV 5.00 KV	curr 1.6 nA	НFW 14.9 µm	det ETD	mode SE	←−−−−−− 5 µm −−−−−− Helios NanoLab

◆ Databar Configuration:按databar右鍵則會出現以下對話框,可點選所要顯示的項目。



Helios Nanol ab

◆ Label: 在databar label處按右鍵則可輸入所要顯示的字。

4.2.1 使用前準備:

4.2 FIB 主機台操作步驟

- (1) 刷卡取得機台使用權。
- (2) 填寫使用前檢查表與使用紀錄表。

4.2.2 試片準備:

(1) 若有多個試片一起進 chamber, 試片高度必須要一樣高, 樣品務必黏緊。

(2) 一次可同時進 2 inch 的 holder 2個,載台如下圖,紅色圈才有螺絲可以鎖。



# 4.2.3 Load Sample

- (1) 檢查 Z 軸是否在夠低的位置 < 4mm, T= 0 度; R 轉到可以鎖螺絲的角度 (如上圖)。
- (2) 至 sample exchange 控制畫面,按 "VENT" 破真空。
- (3) 將 chamber 打開, sample holder 置於 stage 上,用內六角板手固定 holder,切勿鎖 太緊,破真空切勿超過3分鐘。
- (4) 關 chamber,至 sample exchange 控制畫面,按 "Pump" 抽真空用,並用手壓緊 chamber 門,直到 pumping 聲音變小。
- (5) 至 sample exchange 控制畫面確認 TMP 變綠色,且 TMP1 變成 100%,並確認 HVG
   壓力 < 8 e<sup>-6</sup> mabr,即表示已完成抽真空。



(6) 至 Beam control page,按 "Wake up"將 E-beam / I-beam 啟動,並確認 "Beam on" 是否變黃色。

System			
Wake Up	Sleep		
Column		?	-
Beam On	Beam Current - + 6.3 pA		•

#### 4.2.4 調整 Eucentric height

(1) 目的:當調整 stage 角度時, sample 若不是在 eucentric height,所要分析的 feature 可能無法看到,所以必須調整 eucentric height,使stage 在 0°~52°皆可以看到所要 分析的 feature (說明如下圖所示);調整步驟如 3.2~3.7 所示。



- (2) 調整 eucentric height一定要在 E-beam 下調整),按 III 將 E-beam live。
- (3) E-beam 調至低倍率 (約1000X), 並調整 focus/contrast。
- (4) 按 "Link" icon, 至"Navigation Page" Z 軸輸入4.0mm, 再按 "Enter"; 切記: stage 上 升或 tilt 角度過程中,手一定要放再鍵盤 "Esc" 鍵上,注意 stage 是否會撞到 E-beam;

若發現要撞到則必須立即按"Esc"使 stage 暫停。

(5) 在 sample 處找一位置為定位點,將游標十字移至定位點上,調整 focus / contrast。



(6) 在 T 輸入5°(將 stage 角度調為5度),按 "Enter";若游標十字若已經遠離定位點,則 須調整Z將游標十字調回定位點,再按一次 "Link" icon (注意: 只要調整過 Z 軸則須按 一次 "Link"。

Stage Z		
Down		Up
4	Ш	•

- (7) 完成 5° 調整後,再依上述步驟依序調整 15°,30° 與 52°(注意: 若游標十字與定位點 距離在 5um 內,則無須調整 Z 軸)。
- (8) 完成 52° 調整後,將角度調為 0°,再次確認游標十字是在定位點上;若是則將角度調為52°。
- (9) 調整 eccentric height 先以小倍率 (1000X) 調整完後,將倍率調至約 5000X,再依步驟 (4)~(9) 調整一次。

#### 4.2.5 Beam coincidence for the E-beam and I-beam

- (1) 目的:使其切換 E-beam 或 I-beam 時,再任一模式下移動 sample 位置,在E-beam 或 I-beam 可以同步移動且可以看到同一個 feature。
- (2) 在 E-beam 下調整好倍率與 focus,將游標十字置於明顯的 feature。
- (3) 切換到 I-beam, beam current 調至< 40pA,將上一步驟在 E-beam 定位的 feature, 利用 MUI 上 beam shift 之 X、Y 旋鈕;在 I-beam live 下,將其 feature 拉至 Ibeam 的游標十字 (如下圖所示),此方式會 I-beam 會damage 樣品。
  ※可利用鍵盤"Shift" + 滑鼠左鍵,則螢幕會出現一隻手;則可在 I-beam pause的狀態下其 feature 拉至 I-beam 的游標十字;在利用 <sup>1</sup> snap shot 擷取影像,確認 E/I beam 游標 十字有在相同的 feature,此方式較不傷害。



(4)完成後則可開始製作所要的 pattern。

# 4.3 Cross section 試片製作範例

<u>※ 樣品製作方式完全依需求而定,以下製作方式僅為基本方法,實際應用需視材料與需求,</u> 即時調整所有的參數設定。

4.3.1 試片前處理:

若樣品為非導體,可視需求以Ag膠或以鍍金機鍍導電金屬 (如:C、Pt、Au...)。

4.3.2 輔助記號:

為精確切到欲分域之位置,可先在欲分析區域以沉積 Pt/C或mill的方式做輔助記號,此步驟 依需求而定,不一定需要做。

4.3.2.1 參數設定:

Pattern	Line:在欲分析的 feature 上劃一條線
Dimension	Length:輔助線之長度;建議比下一步驟保護層長
	Z:輔助線厚度 (~300nm), mill或沉積過程中, 可以視需要隨時調
	整Z。
Application file	沉積 Pt / C
Beam current	視所沉積的長度與厚度,建議 < 0.43A,檢視 total time是否太
	長,若時間太長則選擇大一點的 beam current以縮短時間

4.3.2.2 執行mill或沉積

- (1) focus / contrast 調整:為防止樣品被 I-beam 破壞,盡量避免將 I-beam live,尤其使用較大 beam current 時,可縮小倍率將畫面移至非分析的區域,或搭配使用縮小視窗功能 (快速鍵: F7)調整 focus / contrast。將畫面移回 I-beam 所要分析的區域,按 snap shot 擷取影像,確認 focus / contrast 與所畫的輔助線是否在所要分析的 feature 上。
- (2) 按 開始執行,執行過程中可以在 E-beam 按 snapshot 擷取影像,確認 I-beam 是否精確打在欲分析的 feature 上。
- (3) 選取圖形將所畫的輔助線圖形刪除 (鍵盤: Delete或丟到垃圾桶 🎹 )。
- (4) 以E-beam 調整 focus / contrast 檢視輔助線是否正常;完成如下圖所示。



4.3.3沉積保護層:

為避免 ion beam 破壞欲分析的區域,以沉積 Pt 或 C 保護欲分析的區域;以下以沉積 Pt 作範例,沉積 C 步驟完全相同。在步驟 4.3.2 所畫出的輔助線上畫欲沉積之圖形。

4.3.3.1 參數設定:

Pattern	Rectangle
Dimension	視分析需求設定
	X:長度;Y:寬度;Z:厚度,建議0.4~0.5um
Application file	Pt dep 或 C dep
Beam current	建議以 dimension X*Y*10 (或乘以 2~6皆可)
	例如: X*Y dimension = 15*2 um
	beam current = 15*2*10 = ~300 pA
	beam current 愈大,deposition 時間短,Pt 或 C之緻密性差
	beam current 愈小,deposition 時間長,Pt 或 C之緻密性好
	若是要當作 cross section 保護層,建議 beam current X*Y*10,
	保護性已足夠,但因 GIS位置因素,建議 beam current 最大使用
	到0.43nA。
	若沉積的金屬是要當作電性量測之橋梁,建議用較小的 beam
	current,可得到較佳的緻密性。

(1) 至 Pattern / Gas Injection 控制畫面 (參考步驟 4.1.5.4),確認 Pt 顯示 "Warm" (表示 加熱完成);並在 Pt dep 方格內打勾,即可伸入氣體噴嘴。

Gas	Insert	Heat	Flow
🔵 Ins dep		Warm	Closed
🔘 Au dep		Warm	Closed
😑 Pt dep		Warm	Closed
🔿 C dep	E	Warm	Closed

- (2) Focus / Contrast調整:以下只要提到 focus / contrast 調整則如步驟如 4.3.2.2 (1),不 再贅述。
- (3) 沉積 Pt 前按 📓 snap shot, 確認所畫之圖形是否在欲分析feature之輔助線上。
- (5) 沉積完成後,將 Pt dep 方格打勾取消,退回噴嘴;並將所畫的圖形刪除。
- (6) 切換至 E-beam檢視 Pt 沉積之狀況。



#### 4.3.4 粗切 (Regular cross section)

至 Pattern 控制畫面,選擇 "regular cross section";在所沉積好的保護層 1um之間距畫一 長方形定義所要粗切的區域;切的方向如下圖所示。



#### (1) Regular cross section 參數設定

Pattern	regular cross section
Dimension	X:長度,為保護層長度多1~2 um。
	Z:深度,視所要分析的結構而定,mill過程中,可以視需要隨時調整
	Z的深度。

	Y:寬度,建議為實際分析深度 (Z) 之 2.5倍;	
	例如: Z= 3 um,Y=3.0*2.5=7.5um。	
Application file	未知材料或無 database 者,可以 Si 試切	
Scan method	可選擇 stair step 或 Mutiscan	
	Stair step:為階梯狀切法,靠近欲分析的橫節面深度越深,適合度較	
	深的樣品,可節省時間,如 > 5um。	
	Mutiscan:同cleaning cross section pattern,適合切深度不需要很深	
	之樣品,如 < 5um	
Beam current	beam current 越大時間越短,視材料所需調整。	

- (2) Focus / Contrast 調整。
- (3) 執行粗切:按 開始執行,執行過程中可以切換到 E-beam,按 Snapshot檢 視粗切是否在正確的位置。
- (4) 完成粗切後,切至 I-beam ,將 beam current 調至<80pA;將所畫的粗切圖形刪除。
- (5) 以 E-beam 確認所要分析的深度是否足夠;若深度不夠可再次執行粗切直到深度足 夠。

#### 4.3.5 細拋 (Cleaning cross section)

粗切使用的電流較大, cross section面並不平整,利用較小電流將cross section 橫截面修 平。至 Pattern 控制畫面,選擇 "Cleaning cross section";距離所沉積之保護層1um 處 畫一長方形定義所要細拋的區域;切的方向如下圖所示。



# (1) 參數設定:

Pattern	Cleaning cross section		
Dimension	X: 與粗切相同		
	Y:由粗切的白邊拉到 Pt 保護層之邊界;如上圖所示。		
	Z:為粗切之一半,mill過程中,可以視需要隨時調整Z的深度。		
Application file	未知材料或無 database 者,可以 Si 試切		

Beam current	視材料而定,選擇適當的 beam current,一般比粗切小,同時要檢視
	二次切的時間,時間最好不要太短。

- (2) Focus / Contrast 調整。
- (3) 按 開始執行,執行過程中可以切換到E-beam 模式下,按 snapshot 擷取影 像確認mill的狀況。
- (4) 完成細拋後,切至 E-beam 檢視橫截面是否夠平整,若不夠平整則可再降低 beam current,重複步驟 4.3.5,直至橫截面平整度符合需求,並以E-beam所要的影像。
- (5) 完成後, 切至 I-beam, 將 beam current 調至< 80pA; 將所畫的圖形刪除。

#### 4.3.6 Unload sample (取出試片):

- (1) Stage 歸零:將 stage X、Y、T皆設為 0,R旋轉至可以鎖螺絲的角度。
- (2) 至Beam control/System 控制畫面,分別在 E-beam 與 I-beam 按 "Beam on";則 可關掉 beam;並檢視 E-beam/I-beam 的 "Beam on"是否變為灰色。

※ 若1小時內沒有下一位user則直接按按 "Sleep", 並檢視 E / I-beam "Beam on"

是否變為灰色。

Wake Up		Sleep	
Column			? 🔮
Beam On	Beam	Current	
beam on	- +	6.3 pA	-
High Voltag	je <b>- +</b>	20.00 kV	-
ſ			

(3) Zero beam shift:至 stage頁面,分別在 E-beam 與 I-beam 按 "Zero Beam Shift"將 beam歸位。





- (4) 破真空:至 sample exchange 控制畫面,按 "VENT";完成破真空則可取出試片。
- (5) 抽真空:至 sample exchange 控制畫面,按 "Pump" 抽真空用,並用手壓緊chamber 門,直到 pumping 聲音變小。

(6) 至sample exchange控制畫面確認TMP變綠色,且TMP1變成 100% 即表示已完成抽 真空。



- (7) 刷退卡機。
- (8) 確實填寫使用記錄表。
- (9) 使用完畢務必將物品歸位,並將垃圾清理乾淨。
- (10) 軟體操作過程中動作要放慢,一定等目前的動作執行完成後,才能再執行下個動作。

#### 4.4 TEM 試片製作範例

※ 樣品製作方式完全依需求而定,以下製作方式僅為基本方法,實際應用需視材料與需 求,即時調整所有的參數設定。

4.4.1 試片前處理:

為避免樣品欲分析區域遭受離子束破壞,樣品欲分析的區域必須先作保護層,同時為了在 TEM分析下可清楚分辨保護層與樣品之介面,保護層作法取決於樣品最表層的之晶相。

- (1) 最表層為結晶相:
   先上非晶相物質(如:ink、M-bond、光阻…),再鍍導電金屬層(如: Pt、Au...)。
- (2) 最表層為非結晶相: 先鍍導電金屬層(如:Pt、Au...),為防止離子束轟擊時,金屬層往樣品最表層擴散,建議 再上一層非晶相物質(如:ink)。
- 4.4.2 試片前準備 (load sample、eucentric height 調整、beam coincidence 調整) 同步驟4.2。
- 4.4.3 輔助記號: 同步驟 4.3.2.
- 4.4.4 沉積保護層:同步驟 4.3.3.,保護層dimension建議如下:

X = 12~15um ; Y : 1.2~1.5um ; Z : 1.0~1.5um •

4.4.5 粗切 (Regular cross section):

TEM樣品必須要於100nm以下的薄片,電子束方能穿透,若要高解析則樣品必須切到更薄,為 得到薄片,有別於cross section樣品製備,需在保護層上下先以大電流挖開兩個洞

# (1) 參數設定

Pattern	regular cross section		
Dimension	X:長度,為保護層長度多1~2 um。		
	Z:深度,視所要分析的結構而定。		
	Y:寬度,建議為實際分析深度 (Z) 之 2.5倍;		
	例如: Z= 3 um,Y=3.0*2.5=7.5um。		
	U的方向 Pattern 2: rotation 180°		
Application file	未知材料或無 database 者,可以 Si 試切		
Scan method	建議選擇stair step		
Stage control	T=52°,選择		
Beam current	65nA, beam current 越大時間越短,視材料所需調整。		

- (2) Focus / Contrast 調整。
- (3) 按Start ▶ 開始切,完成後以E-beam 檢視如下圖。



# 4.4.6 細抛 (Cleaning cross section)

粗切使用的電流較大, cross section 面並不平整,利用較小電流將cross section 橫截面修 平。

(1) 参數設定:

Pattern	Cleaning cross section		
Dimension	X: 與粗切相同		
	Y:只要含蓋白邊.		
	Z:粗切Z的一半		
Application file	未知材料或無 database 者,可以 Si 試切		
Stage control	A:T=52°+1~2°,視所需分析之深度,深度越深,需tilt角度越大。		
	B : T= 52° - 1~2°		
	Pattern 2: rotation 180°		
Beam current	視材料而定,選擇適當的 beam current,一般比粗切小,可用		
	21nA~2.5nA。		

(2) 隨時以E-beam 確認mill結果。

第一次細拋完成後,再將beam current條小,重複步驟 IV.6.1~ IV.6.2,切至TEM薄 片約1.0um厚度 (即Pt 寬度約1.0um)。

—<u>•</u>

應力大則建議不要太薄,避免 TEM 薄區變形

# 4.4.7 **U-cut**

(1)	參數設定	:
-----	------	---

Pattern	Rectangle		
Dimension Pattern 1. > 3.			
	X=500nm,Y、=視所分析的深度而定,Z=視所預留薄區的厚度而定		
	Pattern 2.		
	X=視所分析的深度而定,Y=500nm,Z=視所預留薄區的厚度而定		
	1 3		
	選擇 🗣 parallel milling		
	切法如下,此切法可避免應力的產生:		
	第一刀 pattern 1.→ pattern 2. → pattern 3.		
	第二刀 pattern 1. → pattern 2. → pattern 3.		
	第三刀		
Application file	未知材料或無 database 者,可以 Si 試切		
Stage control	T= 7°		
Beam current	視材料而定選擇適當的 beam current,可用2.5~0.79nA。		

(2) 以E-beam將其底部調亮一點,以便觀察 U-cut 是否有切斷。



(3) 完成後,再將stage T=52°,確認 U-cut 是否都有切斷,如下圖範例所示。



# 4.4.8 U-cut 後細抛 (Cleaning cross section)

切法同步驟 4.4.6,只須逐一降電流細拋,厚度至少要<100nm,視TEM分析需求細拋至所需 的厚度,最後細拋可再用低電壓 (8KV/66pA; 5KV/ pA; 2KV/72pA....)細拋,以減少離子束所 產生damage。



# 4.4.9 Cut off bridge

(	(1)	) 參數設定	:

Pattern	Rectangle		
Dimension	X 、Y:只要含蓋 U-cut 寬度與長度		
	Z:可設大一點,由 E-beam 確認是否切斷		
	※ 切完 pattern 1, 再切 pattern 2, 可留一點點, 不要完全切斷。		
Application file	未知材料或無 database 者,可以 Si 試切		
Stage control	T= 52°		
Beam current	使用最後細拋之電流		

(2) 完成後果如下圖所示。



4.4.10 Unload sample (取出試片): 與步驟 4.3.6相同。

# 4.5 Cross section 影像拍攝範例

完成 cross section mill, 針對 cross section 可利用 E-beam 或 I-beam 拍攝所需之影像,可選擇以 E-beam 或 I-beam 擷取所需之影像, 拍攝方式如下。

電子束成像(Scanning Electron Microscope, SEM)			
52°;視所需調整角度			
維持原來 cross section 角度			
可選擇			
<b>I</b> mode1: Field-Free:一般解析,內部設定 detector 為 ETD,可用於			
   樣品分析定位,與 mill 過程中位置確認。			
Solution mode2: Immersion (UHR):最後結果影像拍攝建議用此 mode,倍			
率需>3500X,內部設定 detector 為 TLD。 <mark>※ 若樣品有磁性或含有 Fe 、</mark>			
Co、Ni,禁用 mode 2 與 TLD detector。			
視需求調整所需之電壓與電流,一般使用 2KV/86pA。			
beam current			
離子束成像(Scanning Ion Microscope, SIM)			
0°;視所需調整角度			
維持原來 cross section 角度轉 180°			
Image: The Stree:一般解析,內部設定 detector 為 ETD。			

Voltage	視需求調整所需之電壓與電流,一般使用	30KV/24~80pA;使用離子束較
beam current	易 damage 樣品,故倍率建議< 50K。	

# 4.6 Alarm 處理方式

- 4.6.1 遇到無法處理之alarm

  - (2) 聯絡機台負責;若無法即時聯絡到機台負責人,請先將E-beam beam off, I-beam sleep,貼字條說明機台狀況。

#### 4.6.2 軟體當機重開機

- (1) 將 E-beam beam off, I-beam sleep。
- (2) 螢幕右下方選取如下圖按鈕。



(3) 出現如下圖,按"Enter Service Mode",則出現輸入密碼對話框,密碼為SEaeemc2。

	X XT Microscope Server	Service Mode
System Diagnostics Data Badup Developer Tools Developer Tools Log Viewer	Server state          VI Induced event         RUINNING         UI state         RUNNING         Microscope         Start         Stop         Enter Service Mode         Hide UI         Stop UI	Switching to service mode is protected by password. Please enter the Service password: SE-aeemc2 Keep me signed in OK Cancel
	Administration Instal directory C:\Program Files\FEI\Exe\ Active configuration FelMicroscope Autorun UI FelMicroscope   Service Tools FelMicroscope   BinVsafety  BinVsafety	

(4) 系統會進入Service Mode, 螢幕顯示如下圖所示。



(5) 依照下圖按照數字順序關機。



(6) 機台前方 System Power Switch 燈號會由綠色變黃褐色,如下圖所示。



(7) 如下圖,在螢幕左下角離開server後,並重開電腦。



(8) 打開下圖所示桌面軟體。



(9) 按機台前方"System Power Switch"鈕,燈號會由黃褐色變綠色,如下圖所示。



(10) 軟體如下圖所示亮3顆"綠燈",再按 "Start",下方所有燈號則會變綠色。



(11) 出現如下圖登入Microscope對話框; ID: user; PW: user。



(12) 出現home stage對話框,將stage初始化,如下圖所示。

1	Home Stage Needed
	Home stage procedure must be completed before any movement can take place.
	$\blacksquare$ Home stage with the rotation axis
	Home Stage

(13) 則完成重開機程序。

# 5.X 光能量分散光譜儀(EDS)操作步驟

#### 5.1 樣品準備

- (1) 試片放進 FIB chamber 中, 調整好 eucentric height。
- (2) 準備好要打 EDS 之區域,並調整好要分析的 Stage 角度; EDS可以在stage 0~57度 做,即可以作試片 top view 與 cross section 之元素分析。
- (3) EDS 只能用 E-beam 做,不能在 I-beam 下做,特別要注意使用 I-beam 時,EDS detector務必退出。
- (4) 確認 EDS detector 兩個燈是否亮藍色與綠色,綠燈與藍燈恆亮表示機台正常狀況。



(5) 開啟電腦, ID: user, PW: User, 開啟桌面 Aztec軟體。

Welcome to AZtec	ireate a New Project Interference a New Project Interference Project I Interference Difference Diff
Projects Demo Data Help	Profiles Select a profile to use with your new project. Description Description Current Settings . Corr Carcel
新增 project,亦可由 File / New project	必須先輸入project name,檔案只能儲存 在"本機 D:";之後再儲存到support PC 並燒錄取出檔案。

(6) 在機台右下角點選detector圖示,在選position,按"In"則將detector伸入chamber中;並檢視機台上的 EDS detector 是否真的伸入chamber中。



(7) 關閉 FIB之 CCD,因CCD會產生白光幅射之干擾訊號。



(8) 點選右下角 "Control of the Microscope",機台設定會自動擷取FIB的倍率、WD、HV,亦可由此畫面手動調整。

-	Microscope Contr	ol			#	
Microscope Setup	Column	Helios - 9925079				
	Stage		Current Values	New Values		
	Judge	Magnification:	149	149	🗧 Set	
		Working Distance (mm):	3.76	3.76	🗧 Set	5
		High Voltage (kV):	2.00	2.00	🗧 Set	
		Beam On:			Set	
		Auto Contrast/Brightness:			Set	)
		Auto Focus:			Set	5

(9) 可由左上角選取所要分析的功能,如下圖。



# 5.2 EDS\_Analyzer 操作步驟

Analyzer之操作流程如下圖所示,主要操作步驟依照圖示由左往右做。





5.2.1 Describe Specimen: 可輸入specimen與site註解。

試片表面是否有鍍薄膜? 打勾可選擇鍍膜材料,定 量時會將其計算。 Default: carbon Thickness: 10 nm Density: 2.25 g/cm3

# 5.2.2 Acquire spectral:



# 5.2.2.1 Acquisition toolbar



- Energy Range (keV): Auto, 10, 20, 40
- ◆ Number of Channel: Auto, 1024, 2048 or 4096 (4K); spectrum 解析度 (eV/channel) 與energy range和number of channel關係如下圖。

Energy Range (keV)	Number of Channels	eV/channel
0-10	4096	2.5
0-10	2048	5
0-10	1024	10
0-20	4096	5
0-20	2048	10
0-20	1024	20
0-40	4096	10
0-40	2048	20

- Process time: Default, 1~6
  - 1: 解析度最差, Dead time最小
  - 6: 解析度最好, Dead time最大

一般定性與定量分析 Process time設 5 或 6 (解析度好, Dead Time大)。
 Mapping或 Linescan 分析 Process time可設 1 或 2 (解析度差, Dead Time 小)。

◆ Acquisition mode: Auto, Live time, conts
 Auto: 會自動收集到可以定量之足夠的conts
 Live time (seconds): 可設定收集訊號時間
 conts: 可設定收集訊號強度, default 500,000
 畫面右邊會即時顯示 input / output count rate與 dead time。

Mini View	Ratemeter	• ¢	- PX
Input Count	Rate (cps)	Total:	(a)
	8	9460	
Output Cou	int Rate (cps)	Total:	
	4	1900	
Dead Time			
		55%	
Recommen	ded WD 4.0 r	nm	
-			

# 5.2.2.2 Toolbars



# 5.2.3 Confirm element

Confirm Elements



# 5.2.3.1 Confirm element setting



◆ Markers: 標示 X-ray訊號位置



Peak shape



利用 Filtered Least Squares 計算去除 backgroud,可由週期表點選要標示的 元素

◆ Fitted Spectrum: 顯示計算圖譜



◆ Theoretical Spectrum: 顯示理論圖譜



# 5.2.3.2 Toolbar



# 5.2.3.3 Candidate Elements:

點選圖譜上的peak會顯示出可能的元素



# 5.2.3.4 Comparing spectra and quantification

設定要顯示 Wt% or At%



選擇所要顯示圖譜的元素





5.2.3.5 在圖譜上按滑鼠右鍵,會出現下圖編輯圖譜之功能。



Reset Scale:自動回覆圖譜座標 Export:輸出圖譜成其他檔案格式 (bmp, tiff, jpg, Wmf, txt, spe) Peak Labels:顯示 peak 元素 Annotations:註解 X-axis:可調整範圍 Y axis:可調整範圍與顯示 Cps/ ev or conts

# 5.2.3.6 由Data view / data tree可顯所有分析的project、specimen、site



# 5.2.4 Calculate Composition



♦ Available template: quant results 格式選擇



◆ Quant Results View: 由data view選擇所要顯示的圖譜,再按Add Selected。

Quant Results View Viewed Data: Multiple Spectra			Result T	уре	Weight	% 🔻		選擇 W% or At%		Data View  Current Site Data Tree	
Spectrum Label 🔹	c	0	AI	Si	P	Mn	Fe	Total	Project P		
1	1.78	3.77			16.00	0.56	77.89	100.00 8/Specimen 1/Site 2			
2	1.87	12.99	0.85	2.22	12.06	2.41	67.59	100.00 8/Specimen 1/Site 2			r -
3	4.79	6.56	1.48	5.93	7.58	1.83	71.83	100.00 8/Specimen 1/Site 2		Add Selected Spectra	
										¢ .	

# 5.2.5 Compare Spectra



由data view選擇所要顯示的圖譜,再按Add Selected Spectra



# 5.3 EDS\_Point & ID 操作步驟

Point & ID之操作流程如下圖所示,主要操作步驟依照圖示由左往右做。



5.3.1 Describe Specimen:同步驟 5.2.1。

# 5.3.2 Scan Image





自動調整影像亮度對比

- 5.3.5 Calculate Composition::同步驟 5.2.4。
- 5.3.6 Compare Spectra:: 同步驟 5.2.5。

# 5.4 EDS\_Line scan 操作步驟

Line scam 之操作流程如下圖所示,主要操作步驟依照圖示由左往右做。



- 5.4.1 Describe Specimen:同步驟 5.2.1。
- 5.4.2 Scan Image: 同步驟 5.3.2。

# 5.4.3 Acquire line data



Setting



Process time 建議用 default 會有較好的 data 與分析速度

Points:設定一條線要打多少點 Separation:設定距離多遠 (um)打一點

# 5.4.4 Construct Linescans







A. Construct lines

Line:無扣除背景值

TrueLine:利用Filtered Least Squares (FLS)計算扣除背景值,並避免元素重疊peak的

#### 計算錯誤。

QuantLine:在分析的點上會顯示Wt% or At%

B. 由line scan的線上,取欲分析點圖譜與定量,其結果會顯示在data tree。



C. Settings: 可改變smooth factor, 改變 line顏色與粗細。



D. Line details: 在週期表上選所要的圖譜。



# 5.5 EDS\_Map 操作步驟

Map之操作流程如下圖所示,主要操作步驟依照圖示由左往右做。



- 5.5.1 Describe Specimen:同步驟 5.2.1。
- 5.5.2 Scan Image: 同步驟 5.3.2。

# 5.5.3 Acquire Map data



# A. Toolbars



# B. Settings:可設定參數如下



# C. Construct map

Map:標準X-ray Map,若無overlapping peak可用此 TrueMap: 扣除背景值,若有overlapping peak,建議用此模式 QuantMap: 在map上顯示元素wt% or At%

# 5.4.4 Construct Maps





A. Reconstruct spectrum: 可在 Map 圖上點選所要的圖形做定量與圖譜分析,分析的區 域會顯示在data view。



# B. Construct setting



Map 顯示可選擇依: alphabetical, atomic number, Max. intensity 或 mean intensity 排序 選擇哪幾張 map 疊圖 Manual: 手動點選 Auto mode: 以最大 intensity 之前 N 張

可以選 1, 3X3, 5X5

撷取訊號時會自動調整亮度對比

# 5.6 EDS\_Report 操作步驟



# 5.6.1 點選 Report results / Report Templates

Document Type:	Word		*	Title	Directory	
Orientation:	All	-		Electron Image and Maps	System	
Danar Siza	14			Electron Image with Multiple B&W Spectra and no MiniQuant	System	
				Electron Image with Multiple B&W Spectra and no MiniQuant	System	
Directory:	All			Electron Image with Multiple B&W Spectra and MiniQuant	System	
Category:	All	-		Electron Image with Multiple B&W Spectra and MiniQuant	System	
Technique	All			Electron Image with Multiple Colour Spectra and no MiniQuant	System	
- Show Envorite	c Only			Electron Image with Multiple Colour Spectra and no MiniQuant	System	
Show Pavonite	soniy			Electron Image with Multiple Colour Spectra and no MiniQuant	System	
				Electron Image with Multiple Colour Spectra and MiniQuant	System	
			*	Electron Image with Multiple Colour Spectra and MiniQuant	System	
				Electron Image - EBSD Point	System	

- ◆ Document type: Word 或 Excel
- ◆ Orientation: 直或橫向
- ◆ Paper size: A4 或 Letter
- Directory: System, current user, all user
- Category:



**5.6.2**轉成word 或 excel則可save file,一開始輸入project name則會自動儲存project, 檔案只能儲存在本機 D,之後再儲存到support PC並以光碟燒錄取出檔案。

#### 5.7 注意事項

- (1) 使用完後,點選 detector圖示,在選position,按 "Out" 將Detector退出Chamber 並檢視機台上的EDS detector 是否真的退出chamber。
- (2) 關閉EDS軟體。
- (3) 請確實填寫使用記錄表。
- (4) 使用完畢務必將物品歸位,並將垃圾清理乾淨。
- (5) 軟體操作過程中動作要放慢,一定等目前的動作執行完成後,才能再執行下一個動作。
- (6) 圖檔案請存至Support電腦,並用光碟片存檔,嚴禁使用隨身碟。

# 6.認證標準

以下表格為課程訓練之流程與認證之標準。

# 前瞻聚焦離子束認證評分標準

受認證者:	得分:	認證者:	是否注	通過認證:
<b>滿分 150 分,標準 130 分</b> 中,若對操作步驟不熟悉 經監試者提示扣該題配分	。標準以下者直接 (一分鐘內需回答) 之一半□□□□□	刪除。標準以上者比 。 □□□□	分數。正確完成打✔,	錯誤者打火。在上機考過程
<u>15分/機體介紹</u> □ Electron gun □ MD detector □ Chiller □ I-beam WD	☐ Ion gun ☐ ICE ☐ Scroll pu ☐ E-beam	imp 與 stage 正交角度	□ Pt GIS □ EDS □ 不斷電系統 □ I-beam 與 stage 正	□ C GIS □ easy lift □ E-beam WD 交角度
<ul> <li>15分/使用前檢查</li> <li>☆ punp 抽風量是否</li> <li>是否檢查 UPS 燈正常</li> <li>填寫使用者紀錄簿,長</li> <li>填寫使用前後檢查表</li> </ul>	足夠? ? 是否填寫 I-beam sou ,毎個項目確實填寫	urce life? 為? (10 分) 少做一項	則扣一分	
<i>6分 / 試片準備</i> □ 是否有戴手套製作試用 □ 試片是否有在送入 Ch □ 是否知道那些試片嚴禁 □ 試片高度不同是否可放	†? amber 前試甩,確議 禁放入 Chamber? (2 女在同一 holder?	忍有黏貼好試片?(2 <i>5</i> 分)	<del>}</del> )	
20分/放試片並作 E/I be □ 破真空前是否確認載者 □ 破真空"VENT" □ 是否拉開腔體門將 Ho □ 是否關上腔體門,按 □ 破真空時間是否小於 1 □ 抽真空完成, chamber □ E beam 對焦後, 按 Z-H □ 將 Z 軸往上升至 4mm 備? (5 分) □ 若發現調完 focus 後,	am 準備 合高度夠低? der 放入 chamber 中 "PUMP" 抽真空: 3 分鐘? 燈變綠色後,是否 流k 前是否檢查 Z 朝 過程中,是否有注 Z 軸偏離 4mm,原	<ul> <li>立將螺絲 "輕輕</li> <li>並按住腔體門右下角</li> <li>知道待 TMP 100% 2</li> <li>+</li> <li>+</li> <li>新頭為紅色往上且數</li> <li>意 Z 軸是否會撞到 B</li> <li>-</li> <li>-<th>"鎖緊? 直至 pump 聲音變小? 下可將 E/I beam wake up? 数值為 0 ? (2 分) E-beam,且手是否有在 (2 分)</th><td>(3 分) "Esc"鍵上隨時作 stop 之準</td></li></ul>	"鎖緊? 直至 pump 聲音變小? 下可將 E/I beam wake up? 数值為 0 ? (2 分) E-beam,且手是否有在 (2 分)	(3 分) "Esc"鍵上隨時作 stop 之準

## <u>10分 / Eucentric Height 調整</u>

- □ 是否知道調整 Eucentric height 之目地?
- □ 調整過程是否正確?(5分)
- □ 是否有回 0°確認調整之位置?
- □ 0°與 52°差異多少可接受?
- □ Eucentric height 調整不好有何影響? (2分)

# 4分 / E / I Beam coincidence 調整

- □ 使用 I-beam 前是否確認 beam on?
- □ 是否知道調整 E / I Beam coincidence (beam shift) 調整之目地?
- □ 調整方法是否正確?(2分)

# <u>10分/鍍保護層 (C or Pt)</u>

- □ 是否知道 pattern 如何選擇?
- □ 是否知道 Application file 如何選擇?
- □ 確認 GIS 是否有加熱?
- □ GIS 伸針後,是否有重新 snapshot 以確認鍍的位置是否正確?
- □ 是否知道 GIS 伸針後不能移動 stage? (2分)
- □ 鍍完後是否有先收 GIS 針? (2分)

#### 25分/ UI interface 之功能

- □ 是否會切換及確認 window 下目前顯示的模式?
- □ 是否知道 E-beam 有哪些 detector?
- □ 是否知道 Import pattern / export pattern 如何使用?
- □ 是否知道如何改變掃描速度?
- □ 是否知道設定掃描模式? (Live, Average, Integrate)
- □ 是否知道其他 Pattern 之應用? (Circle, line, polygon, bitmap) (4分)
- □ 是否知道 scan rotation 如何使用?
- □ 是否知道 x-T align feature 如何使用?
- □ 是否會記憶試片位置?
- □ 是否知道 Stage 如何 rotation? Compucentric rotation 為何?
- □ 如何量測尺寸? Specimen 與 cross section 有何差異? (2分)
- □ 遇到 alarm 如何處理?
- □ 如何儲存檔案?

# <u>20分/EDS</u>

- □ EDS 可以在 stage 幾度之間做?
- □ 是否知道 EDS 不可以 I-beam 下做? (2分)
- □ 是否會確認 EDS detector 為正常狀態?
- □ 是否會確認 detector 為伸入或退出狀態? (2分)
- □ 是否知道要做 EDS 時,將 CCD 關閉? (2分)
- □ 是否知道 EDS 三大功能頁面 (Analyzer, Point, Mapping)? (3分)
- □ 是否知道 Acquisition rate 與 dead time?
- □ 是否會使用 Analyzer 之頁面?

- □ 是否會使用 Point 之頁面?
- □ 是否會使用 Mapping 之頁面?
- □ 是否知道如何加元素與刪元素?
- □ 是否知道如何出報告與存檔?
- □ 做完 EDS 是否有將 detector 退出? (3分)

# 15分 / 結束使用應注意事項

□ 填寫使用前後檢查表與使用者紀錄簿,每個項目確實填寫?(10分)少做一項則扣一分

- □ 破真空取出試片程序是否正確?
- □ 是否確實待 chamber 變綠色後才刷卡離開?
- □ 是否知道 I-beam 何時要 sleep?
- □ 是否知道預約時間要預留破真空與抽真空時間?

#### 7. 應用與實際範例

在一般工作電壓下,離子束尖端電流密度約為1埃10<sup>-8</sup> Amp/cm<sup>2</sup>,以電透鏡聚焦,經過 一連串變化孔徑 (Automatic Variable Aperture, AVA)可決定離子束的大小,再經過二次聚焦 至試片表面,而由於離子在與樣品的第一次碰撞時消耗了大部分動能,因此可以對樣品最外 表面的信息進行成像,為掃描離子顯微鏡 (Scanning Ion Microscope, SIM);聚焦離子束系 統除了具有電子成像功能外,由於離子具有較大的質量,經過加速聚焦後,還可對材料和器 件進行蝕刻、沉積、離子注入等加工。也可利用離子之物理碰撞來達到切割之目的;搭配不 同之氣體選擇,則可以進行沉積或蝕刻等功能,示意圖7.1 如下:



圖 7.1 (參考資料 8.4)

此機台實際應用範例如下:

#### 7.1 離子束成像 (Scanning Ion Microscope, SIM)

聚焦離子束轟擊樣品表面,激發二次電子、中性原子、二次離子和光子等,收集這些 訊號,經處理顯示樣品的表面形貌。目前聚焦離子束系統成像解析度已達到 5nm,比掃描 電子顯微鏡(SEM)稍低,但成像具有更真實反映材料表層詳細形貌的優點。

另外利用離子通道對比效應 (lon Channeling Contrast) 可清楚觀察不同晶體的疊層 結構,因此 SIM 可用於晶粒分布分析。其作用原理是固態晶體樣品原子的規則排列,其特 定的晶體方向與晶面間會形成類似通道的晶格間隙,當離子束對準通道方向時,離子會長 驅直入,因而不會與樣品表層原子產生碰撞,故沒有二次電子或背向散射的入射離子產生, 所收到的二次電子信號較弱。

若是離子束沒有對準通道方向,在表層即會和樣品原子產生碰撞,則有較多的二次電子或背向散射的入射離子產生,所收到的二次電子信號較強。因此所獲得的影像會有顯著明暗對比,即為的離子通道對比效應 (lon Channeling Contrast)。如圖 7.2 所示,故當離子束轟擊樣品角度不同,同樣的樣品則會有不同的對比強度。



圖 7.2 (參考資料 8.3)

例如圖 7.3 為觀測銅線上晶粒圖像的比較,圖 7.3 左圖以 SEM 無法清楚看到晶粒分布,而圖 7.3 右圖 SIM 圖像明顯可觀察銅線之晶粒分布。金屬之晶粒分布可得到較強的對比。





圖 7.3

# 7.2 離子束蝕刻

高能聚焦離子束轟擊樣品時,其動能會傳遞給樣品中的原子分子,產生濺射效應 (Sputtering),從而達到不斷蝕刻 (Etching),即切割樣品的效果。其切割定位精度能 達到 5nm,具有超高的切割精度。如圖 7.4。



圖 7.4 (參考資料 8.4)

### 7.3 TEM 樣品製備:

可製作 cross section 與 plane view 兩個方向之 TEM 樣品製備。圖 7.5 範例為氧化鋁 材料分析,由 cross section TEM 可看出氧化鋁為管狀結構;由 plane view TEM 則可分析 氧化鋁之管徑大小與其密度。



圖 7.5

#### 7.4 定點橫截面結構分析:



圖 7.6 搭配附屬設備 X 光能量分散光譜儀 (EDS),可進行橫截面之元素分析。

C Kα1\_2

Pt Mα1

Mn Kα1





7.5 客製化特殊圖形製作

7.5.1 機械性質分析之樣品製備。







圖 7.8

7.5.2 光學分析樣品製備。

光子晶體

雷射垂直共振腔 GaN/InGaN microdisk lasers



圖 7.9

#### 7.6 離子束沉積薄膜應用

利用離子束的能量激發化學反應來沉積金屬材料和非金屬材料。透過氣體注入 系統將一些金屬有機物氣體噴塗在樣品上需要沉積的區域,當離子束聚焦在該 區域時,離子束能量使有機物發生分解,分解後的金屬固體成分被沉積下來, 而揮發性有機物成分被真空系統抽走,如圖7.10。



圖 7.10 (參考資料 8.4)

應用範例如電性分析樣品製備:利用離子束沉積金屬 Pt,連接 nano wire 與電極,得以分析 nano wire 之電性。



圖 7.11

# 8. 参考資料:

- 8.1 xT Nova NanoLab User's Manual
- 8.2 AZtech Energy Operator Manual
- 8.3 Introduction to focus ion beams. Edited by Lucille A., Giannuzzi Fred A. Stevie. ISBN 0-387-231 16-1
- 8.4日本分析儀器製造商協會https://www.jaima.or.jp/jp/analytical/basic/em/fib/
- 8.5 FIB介绍 愛問共享资料 (sina.com.cn)