

國立交通大學

工學院碩士在職專班產業安全與防災組

碩士論文

砷化鎵磊晶製程之勞工相似暴露群評估

Evaluation of Labor Similar Exposure Group of GaAs Epitaxy for LED



研究生：薛增錦

指導教授：陳俊勳 教授

中華民國九十七年一月



摘 要

砷化物廣泛的分布於自然界中，可能經由工業製程等方式進入生活環境中，且砷是一種會累積之毒性元素，其化合物之毒性會隨化學型態、攝入體內之途徑、劑量及暴露期間的不同而有極大的差異。砷化氫(AsH_3)氣體可引起溶血，再嚴重時則產生急性腎管狀細胞壞死，最後可能導致腎衰竭。

發光二極體(Light Emitting Diode:LED)是化合物半導體的一種，主要由Ⅲ族（硼、鋁、鎵、銦）、V族元素（磷、砷、銻）組成，LED具有體積小、壽命長、驅動電壓低、反應速度很快(約在 10^{-9} 秒)等優點，一般應用於交通號誌及各種室內、外顯示用看板。在四元的發光二極體磊晶製程中，砷化氫是磊晶的主要原料之一。

風險管理觀念在國外職場漸普及各種作業環境，美國工業衛生協會中暴露評估策略委員會(AIHA, American Industrial Hygiene Association)曾發表有關職業暴露評估與處理策略，係對職場全廠區各種負荷評估，並介紹相似暴露群概念，以健康效益等級 HER(health effect rating)、暴露等級 ER(exposure rating)兩項健康風險等級(health risk rating)及不確定度 UR(uncertainty rating)作職場整體危害之評分，希望能選擇高風險族群作為優先控管對象，以有效降低勞工暴露風險。

本研究試圖以AIHA所發表職業暴露評估與處理策略作基礎，以發光二極體磊晶製程的砷暴露勞工為主要評估對象，進行作業型態調查、機台製程調查、危害物之基礎物理化學或危害特性調查，並依製程、工作項目、工作性質、暴露危害物等建立作業暴露分析，建立相似暴露群，收集歷年的作業環境測定資料、健康檢查結果進行分析。由研究結果得知作業環境中的砷濃度分布範圍為N.D.~ 0.134 mg/m^3 ，遠小於法規之容

許濃度 0.5 mg/m^3 ，管件清洗區的石棉濃度略高於磊晶機台區，健康影響評估方面，年度健康檢查之血紅素測定有大部分人員符合標準，而僅一組數據有顯著相關性存在。

關鍵字：發光二極體(LED)、磊晶(Epitaxy)、暴露(exposure)



Abstract

As compound distributes evenly in the natural world. It might enter into living environment via the industrial manufacture process. Nevertheless, As is one kind of accumulative toxic element. The toxicity of As compound varies substantially with the chemical pattern, absorption path to human body, dose and exposure duration. Gaseous AsH_3 can cause hemolysis, even worse, the destruction of tubulogenesis cell, leading to renal failure probably.

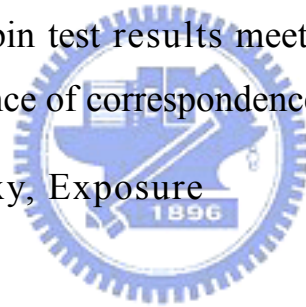
Light Emitting Diode (LED) is one kind of compound semiconductors, constituted by the elements of Group III and V. LED has the advantages of small size, long duration, low driving potential and quick response ($\sim 10^{-9}$ sec.). It is generally used in the traffic signal, outdoor display plate. In the manufacture process of Epitaxy, AsH_3 is one of the primary raw materials.

The idea of risk management becomes popular in the working places and processing environments worldwide. The committee of exposure evaluation strategy of AIHA (American Industrial Hygiene Association) has issued the reports concerning on professional exposure and management strategy. They focus on the various load evaluations around the facility areas and introduce the idea of Labor Similar Exposure Group. The hazardous evaluation of working place is based on the two health risk ratings, such as HER (health effect rating) and ER (exposure rating), and the UR (uncertainty rating). It is intended to select the high-risk group as the control target to lower down the labor exposure risk effectively.

The research intends to apply the exposure evaluation and management strategy of AIHA as the fundamentals to assess the labor As exposure risk

during LED Epitaxy Manufacture process. Such evaluation includes the investigations of working pattern, workstation, physical and chemical properties of HPM, and also bases on the manufacture process, working item and characteristics, and exposure of HPM to establish the exposure analysis and similar exposure group. The analyses also need the input data from the environmental measurements and physical examinations of workers. From the research analyses, it is found that the distribution of As concentration ranges from N.D. to 0.134 mg/m^3 in the working environment, whose value is much less 0.5 mg/m^3 regulated by law. In the pipe cleaning area, its As concentration is a little higher than that in Epitaxy workstation area. For the evaluation of healthy influence, the most workers' Hemoglobin test results meet the standards, and only one set of data show the existence of correspondence.

Key words: LED, Epitaxy, Exposure



誌 謝

終於可以寫誌謝了，攻讀研究所的這段時間，在工作方面經歷了三次公司的整併，在家庭方面，我多了一個寶貝小孩，我想，很少人修研究所在職專班可以唸那麼久還能畢業。

這份論文能夠完成，除了家人的支持與包容外，要感謝行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所展示館游館長逸駿提供的研究方向，感謝潘致弘先生提供的研究數據，感謝同事蕭友誠給予的意見與激勵，感謝曾是我主管的余清其經理及現任主管的林木榮處長的支持，最重要的是陳俊勳教授在論文上的指導，體諒我工作上的壓力，給予的支持與通融，感謝過程中所有協助、鼓勵過我的人。

目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	iii
誌謝	.....	v
目錄	.....	vi
表目錄	.....	vii
圖目錄	.....	viii
一、	緒論.....	1
1.1	背景.....	1
1.2	研究流程.....	2
1.3	研究限制.....	2
二、	文獻探討.....	4
2.1	砷在人體中的毒性與代謝.....	4
2.2	發光二極體磊晶製程.....	7
2.3	制定含採樣策略的作業環境測定計畫.....	11
三、	分析方法.....	15
3.1	背景資料調查.....	16
3.2	危害鑑認.....	17
3.3	初部危害分析.....	17
3.4	實施作業環境測定.....	17
3.5	健康影響評估研究.....	17
3.6	後續改善規劃.....	18
四、	結果與討論.....	19
4.1	背景資料整理.....	19
4.2	危害鑑認結果.....	24
4.3	初部危害分析.....	28
4.4	採樣點規劃.....	32
4.5	採樣結果.....	32
4.6	健康影響評估研究.....	32
五、	結論與建議.....	50
5.1	結論.....	50
5.2	建議.....	50
參考文獻	.....	53
自傳	.....

表目錄

表 1	不同砷物種對老鼠 50%致死劑量.....	5
表 2	國內外砷容許暴露法令標準.....	6
表 3	化學品危害資料.....	22
表 4	歷年環測數據.....	23
表 5	相似暴露族群(SEG)分類圖.....	25
表 6	作業危害特性調查表.....	26
表 7	初步危害分析列表.....	34
表 8	初步危害分析評分.....	36
表 9	歷年個人採樣數據.....	37
表 10	歷年區域採樣數據.....	38
表 11	歷年擦拭採樣數據.....	39



圖目錄

圖 1	作業環境測定策略規劃流程圖.....	3
圖 2	MOCVD 生產 LED 磊晶片流程圖.....	10
圖 3	人員組織圖.....	19
圖 4	機台及化學品對應圖.....	21
圖 5	SEG 架構圖.....	24
圖 6	擦拭採樣結果比較分析圖.....	41
圖 7	個人採樣與區域採樣結果比較圖.....	42
圖 8	94 年 M04(SEG1)與一般女性行政人員(SEG2)血紅素分析.....	43
圖 9	94 年 M03(SEG1)與 M01(SEG2)血紅素分析.....	44
圖 10	94 年 M02(SEG1)與 M03(SEG2)血紅素分析.....	45
圖 11	94 年 M02(SEG1)與 M01(SEG2)血紅素分析.....	46
圖 12	93 年 M02(SEG1)與 M03(SEG2)血紅素分析.....	47
圖 13	93 年 M02(SEG1)與 M01(SEG2)血紅素分析.....	48
圖 14	93 年 M02(SEG1)與 M03(SEG2)血紅素分析.....	49

一、緒論

1.1 背景

砷化物廣泛的分佈於自然界中，砷是一種會累積之毒性元素，砷化合物的毒性會隨化學型態、涉入體內途徑、劑量以及暴露期間的不同而有極大的差異。砷急性暴露後會引起腹瀉、嘔吐及肝和腎臟毒性。Arsine(AsH_3)氣體可引起溶血，再嚴重時則產生急性腎管狀細胞壞死，最後可導致腎衰竭。砷對中樞神經的作用包括：頭昏、軟弱及行為改變等。而慢性砷中毒症狀較不明顯，一般而言類似普通感冒，有體弱、腹瀉、昏睡等症狀，再長期暴露則有皮膚黑色素沉積、皮膚炎、角質化、脫毛等病變出現，慢性砷中毒亦可導致腎臟病變及骨隨受損[1]。砷長期暴露嚴重者可導致癌症，如肺癌、皮膚癌、肝癌、膀胱癌、腎癌，以及心血管、末梢血管病變[2-5]。

發光二極體(Light Emitting Diode:LED)是化合物半導體的一種，主要由Ⅲ族(硼、鋁、鎵、銦)、Ⅴ族元素(磷、砷、銻)組成，LED具有體積小、壽命長、驅動電壓低、反應速度很快(約在 10^{-9} 秒)等優點，一般應用於交通號誌及各種室內、外顯示用看板。據 CIR 於 2003-Dec-15 公布即將出版報告"High Brightness-LED Applications - What Customers Want: A Five-Year Forecast of OEM Buyer Requirements."預測，全球 LED 市場將從 2004 年的 32 億美元，增長至 2008 年的 56 億美元。而在Ⅲ-Ⅴ族半導體砷化鎵磊晶製程中需使用砷化氫(100%)氣體及含砷化合物，故其作業人員作業中潛藏砷暴露危害。

風險管理觀念在國外職場漸普及各種作業環境，美國工業衛生協會中暴露評估策略委員會(AIHA,American Industrial Hygiene Association)曾發表有關職業暴露評估與處理策略，係對職場全廠區各種負荷評估，並介紹相似暴露群概念，以健康效益等級 HER(health effect rating)、暴露等級 ER(exposure rating)兩項健康風險等級(health risk rating)及不確定度 UR(uncertainty rating)作職場整體危害之評分，

希望能選擇高風險族群作為優先控管對象，以有效降低勞工暴露風險。

在「勞工作業環境測定實施辦法」對於環測制度做了一些重大變革，包括一、第七條中將「室內作業場所」修正為「作業場所」，二、第九條中規定雇主應「訂定含採樣策略之作業環境測定計畫」，目的在於雇主應預先規劃作業環境測定之採樣策略，評估實際上的環境狀況與勞工可能暴露的途徑，並利用合適的採樣方法進行環境測定，以瞭解勞工之暴露狀況，並依環境測定的結果，規劃具體的改善措施，所有的過程皆須保留資料，以證明事業單位維護勞工安全與健康的作為。

由研究顯示，製程機台維修保養過程具有砷暴露高度危害。面對未來發光二極體產業的蓬勃發展，砷化合物對發光二極體製造之從業勞工所引起的健康危害不容忽視，故對發光二極體磊晶製程之作業勞工其作業現場的有害物暴露實況該如何由環境測定的結果來展現，有研究之必要性。



1.2 研究流程

本研究分兩階段，第一階段收集國內某發光二極體磊晶製程之背景資料，進行初步危害分析後進行作業環境測定，第二階段為利用統計軟體，分析作業環境結果與健康檢查結果之相關性，以調整發光二極體磊晶製程未來作業環境測定實施的方式。作業環境策略規劃流程圖如圖 1 所示。

1.3 研究限制

1.3.1 因設備維修保養的時間與作業環境測定廠商的時間未必能配合，故在安排採樣時需花很多協調時間。

1.3.2 研究過程中有些人員離職或新進，故評估暴露量時無法進行個人追蹤。

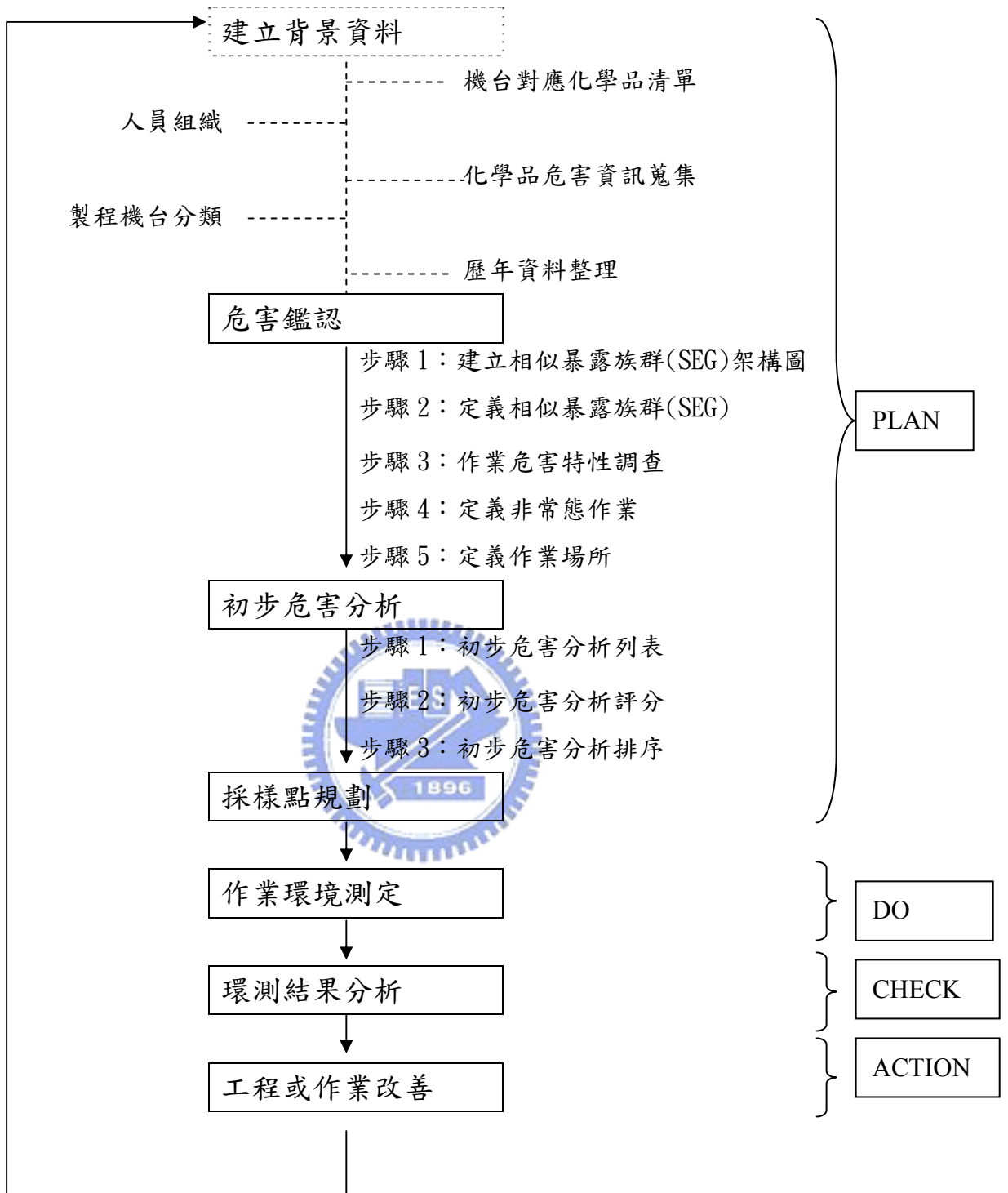


圖 1 作業環境測定策略規劃流程圖

二、文獻探討

2.1 砷在人體中的毒性及代謝

砷元素呈銀灰色或錫白色，易脆且有金屬外觀的物質，屬於週期表 VA 族類金屬元素，砷經常以+5 價(arsenate)、+3 價(arsenite)、元素態(arsenic)、-3 價(arsine)等不同價數的型態存在於環境中。

砷是一種會累積的毒性元素，砷化合物的毒性會隨化學型態、攝入體內途徑、劑量及暴露期間的不同有極大的差異。砷急性暴露後會引起腹瀉、嘔吐及肝和腎臟毒性。Arsine(AsH_3)氣體可引起溶血，再嚴重時則會產生及急性腎管狀細胞壞死，最後可導致腎衰竭。砷對中樞神經的作用包括：頭昏、軟弱及行為改變等。慢性砷中毒症狀較不明顯，一般而言類似普通感冒，有體弱、腹瀉、昏睡等症狀，再長期暴露則有體內黑色素沉積、皮膚炎、角質化、脫毛等病變出現，慢性砷中毒亦可導致腎臟病變及骨隨受損[1]，砷長期暴露者可導致癌症，如肺癌、皮膚癌、肝癌、膀胱癌、腎癌，以及心血管、末梢血管病變 [2-5]。

砷造成健康危害情形會因個體間敏感性(susceptibility)的不同而有差異，造成個體間敏感性的不同和砷的生物轉化作用有關，其原因包括年齡、營養狀況、同時暴露的其他製劑或環境因子，以及基因多形性[6-7]，在國內半導體工業製程有使用無機砷(例如砷化氫)，亦有使用有機砷(例如有機砷酸鹽)，但無機砷的毒性遠高於有機砷，不同砷物種對於老鼠的 50%致死劑量如表 1 所述[8]。

表 1 不同砷物種對老鼠 50%致死劑量

Compound	Formula	LD50 values in rats(mg/kg)
Arsine	AsH ₃	3
Arsenite	NaAsO ₂	14
Arsenate	Na ₂ HAsO ₄ ·7H ₂ O	20
Monomethylarsonic acid(MMAA)	CH ₃ AsO(ONa) ₂ ·6H ₂ O	700~1800
Dimethylarsinic acid(DMAA)	(CH ₃) ₂ AsO(OH)	700~2600
Arsenocholine	(CH ₃) ₃ As ⁺ CH ₂ CH ₂ OH	6500
Arsenobetaine	(CH ₃) ₃ As ⁺ CH ₂ COO ⁻	>10000

勞工工作日時量平均容許濃度之法令為「勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準」，該項標準早在民國 63 年 8 月即訂定完成，有關“砷及其化合物”之作業環境中八小時時量平均容許濃度為 0.5 mg/m³，而“砷化氫”則為 0.05 ppm。該標準最近一次於民國 84 年 6 月修正時[9]，參考美國 ACGIH 容許濃度標準附註有 A1、A2 者，將“砷及其化合物”一項增列「瘤」字，表示該物質經證實或疑似對人類會引起腫瘤之物質，但無論砷或砷化氫之容許濃度值在本次修正中均未做任何改變。在國內環保法規方面，放流水水質標準之規定為 0.5 mg/L，而飲用水水質標準[10](民國 89 年 12 月 1 日修訂)則由原先的 0.05 mg/L 調降為 0.01 mg/L。

在國外方面，美國 OSHA 訂有預防無機砷暴露危害之 29 CFR 1910.1018 法案[11]，其中對於無機砷之範圍界定、容許暴露限值(Permissible Exposure Limit, PEL)、行動限值(Action Level)、個人防護具使用以及醫學檢查項目、時程等均有詳細之規定。而 OSHA 之容許暴露限值為無機砷 0.01 mg/m³(但 AsH₃ 及 As₂O₃ 除外)以及有機砷 0.5 mg/m³，砷化氫則為 0.05 ppm。此外，ACGIH 於 2001 年建議

AsH₃之TLV應由 50 ppb修正為 3 ppb[12]。在環保法規方面，U.S. EPA 所制訂的Safe Drinking Water Act，目前之飲用水水質標準為 50 ppb，預計於 2006 年將調降為 10 ppb。綜合上述，均顯示國際間對砷暴露所導致之健康危害問題日益受到重視。

表 2 國內外砷容許暴露法令標準

	Arsenic(As)	Arsine(AsH ₃)
Taiwan	TWA：砷及其化合物 0.5 mg/m ³	TWA：0.05 ppm
U.S OSHA	PEL-TWA：inorg. As 0.01 mg/m ³ (except AsH ₃)	TWA：0.05 ppm
U.S NIOSH	REL：0.002 mg/m ³ (STEL)Celing IDLH：5 mg/m ³	REL：0.0007 ppm(STEL)Celing IDLH：3 ppm
ACGIH	TLV-TWA：inorg. As 0.01 mg/m ³ (except AsH ₃), 1997	50 ppb(2001 年修訂為 3 ppb)
Austria	TWA：0.05 mg/m ³ , Carcinogen, JAN 1993	TWA：0.05 ppm
Gumany	0.05 ppm, Carcinogen, JAN 1999	TWA：0.05 ppm STEL：0.25 ppm/30min(twice per shift)
Sweden	TWA：0.03 mg/m ³ ,Carcinogen, JAN 1999	TWA：0.02 ppm
United Kingdom	0.2 mg/m ³ , 1993	TWA：0.05 ppm

在國內研究方面，曾有針對半導體晶圓製造廠離子植入PM工程師尿中砷濃度之研究，其結果發現若以尿中砷代謝物之單甲基砷酸(MMA)與尿中總無機砷代謝產物做一比較，可發現PM工程師之MMA相對高於其他對照族群[13]。再者，Hwang等於 2000 年之研究結果，由區域採樣測得 Source Housing 之砷濃度範圍為 0.12-440μg/m³，無塵衣及PM使用後手套上所附著之砷濃度更分別高達 15-832μg/m³及 24-7215μg/m³ [14]。由此可知離子植入PM程序確有砷暴露之潛在危害。而潘的研究中，半導體公司的作業環境空

氣個人採樣之砷平均濃度低於目前我國法規之容許濃度標準之十分之一，進行砷作業區員工與對照組員工之血中總砷濃度、頭髮總砷濃度、手指甲總砷濃度、腳指甲總砷濃度皆各有顯著差異存在[8]。另砷化鎵磊晶製程砷暴露的研究中顯示，磊晶設備維修保養過程區域採樣點所測得空氣中砷濃度，達 $304.46\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.304\text{mg}/\text{m}^3$ ， 30.4ppb)，雖合乎國內法規之規定，但與ACGIH、OSHA所規定標準 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 相比較，則明顯高達 30.4 倍的暴露值；該區主要為利用化學藥劑清洗 MOCVD 設備前滌器 (Particle traps)，雖與 Mosovsky(1992) 等對 MOCVD 維修砷暴露調查值較低，但證實磊晶設備維修保養過程具有砷暴露高度危害[15]。

砷是為已知的人類致癌物，一般職業性癌症發生通常需要 20~25 年，甚至更久的時間才會在工人身上顯現，因此半導體業的癌症罹患率是否顯著增加，將是值得關切的問題[16]。

2.2 發光二極體磊晶製程

發光二極體 (Light Emitting Diode: LED) 是使用半導體材料製成的光電元件，具有體積小、壽命長、驅動電壓低、反應速度很快 (約在 10^{-9} 秒) 等優點，一般應用於交通號誌及各種室內、外顯示用看板。其中發光波長，因材料不同，也有不同的應用，早期光電半導體材料的發展就以 GaP、GaAsP 技術較為成熟，高亮度發光二極體逐漸取代 GaP 材料的發展，而目前藍光科技的研發，則有賴氮化鎵磊晶薄膜技術之掌握，這些可發出綠、藍、黃、紅、藍色光之發光二極體，看似複雜，而其基本原理主要是透過光子在固體材料內與電子間的交互作用，產生光學信號。據 CIR 於 2003-Dec-15 公布即將出版報告 "High Brightness-LED Applications - What Customers Want: A Five-Year Forecast of OEM Buyer Requirements." 預測，全球 LED 市場將從 2004 年的 32 億美元，增長至 2008 年的 56 億美元。

2.2.1 發光二極體磊晶技術

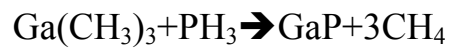
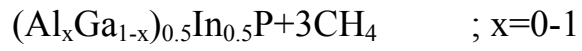
LED 元件的量產過程可分為上、中、下游。上游主要產品為單晶片與磊晶片，單晶片先將原材料單晶化，再經切片、拋光而成，可作為 LED 晶圓製造時的基版，大多為二元的 III-V 族化合物半導體材料，如砷化鎵(GaAs)或磷化鎵(GaP)等；磊晶則是在單晶基板上成長多層不同厚度的單晶薄膜，常用的技術有液相磊晶成長法 (Liquid Phase Epitaxy: LPE)、氣相磊晶成長法 (Vapor Phase Epitaxy: VPE[17])、分子束磊晶(Molecular beam Epitaxy: MBE)及金屬有機物化學氣相沉積法 (Metal Organic Chemical Vapor Deposition: MOCVD) 等方法，MOCVD 為於 1968 年由 Manasevit 等團隊所發表[18]。其中 VPE、LPE 等生產技術較成熟，用來生產一般亮度的 LED，而 MOCVD 除可生產高亮度紅、黃、橙、綠、藍光等 LED 外，尚可用來生產微波通訊用的 GaAs 元件、IrDA、雷射二極體 LD 等產品，因 MOCVD 適合大量生產，為目前台灣最主要的生產方法。

2.2.2 MOCVD 磊晶製程描述[19]

MOCVD 磊晶製程係於金屬反應爐通入砷化氫、磷化氫等氰化物及三甲基鎵、三甲基鋁、三甲基銦等有機金屬，於一定的溫度、壓力等條件下沉積於砷化鎵單晶基板上，成為特定組成的單晶層。經由控制各單層的堆疊次序、參雜濃度等即可形成特定的磊晶片，其製程如圖 2 所示。

所使用的原料包括砷化鎵晶圓、砷化氫、磷化氫、矽甲烷、三甲基鎵、三甲基鋁、三甲基銦、二乙基碲等，反應條件為溫度 500~850°C、壓力約 30~70Torr、產率約 90%。化學反應式如下：





可能產生物包括： AsH_3 、 PH_3 、 H_2 、 CH_4 、 GaAs 、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$

MOCVD 生產的四元發光二極體(LED)磊晶的流程如下圖 2 。



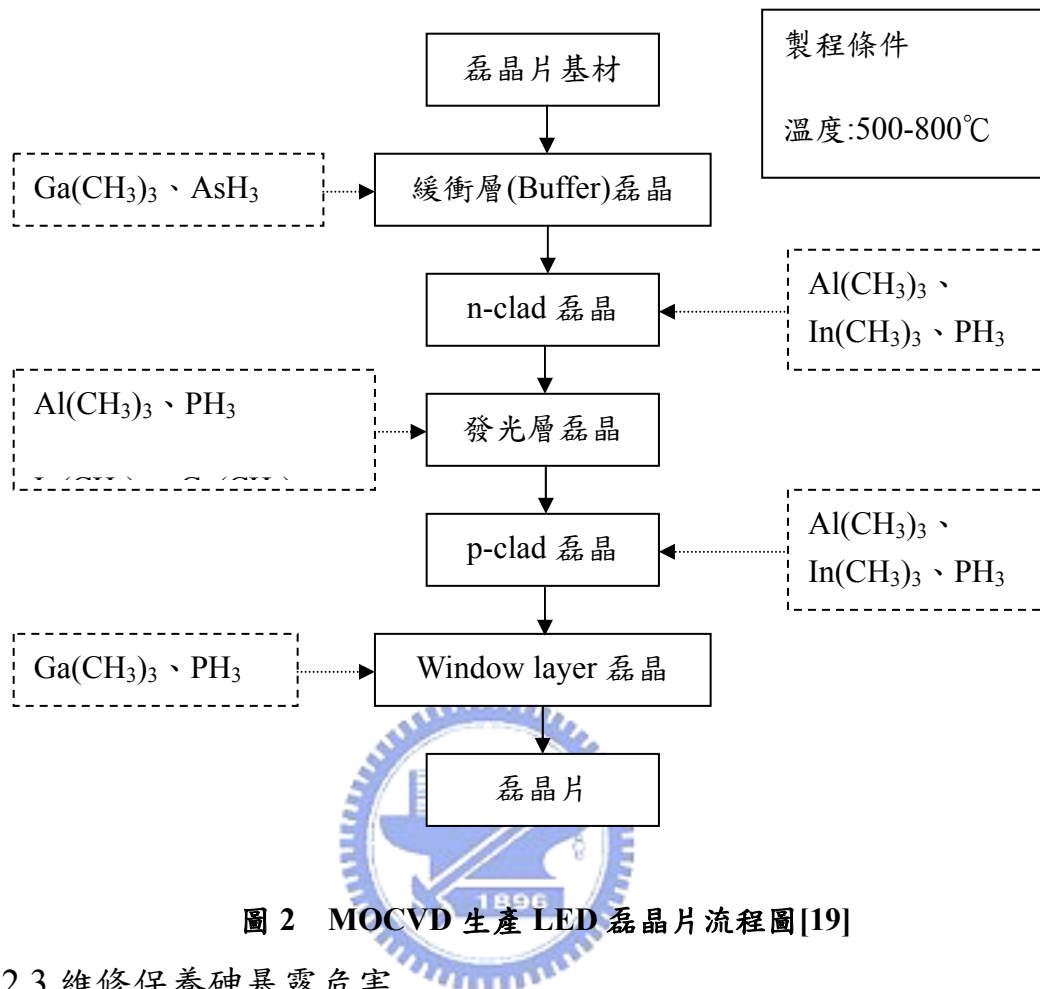
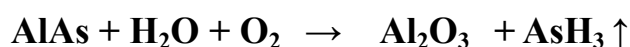


圖 2 MOCVD 生產 LED 磊晶片流程圖[19]

2.2.3 維修保養砷暴露危害

磊晶製程機台不論是 MOCVD 或 MBE 機台，在製程磊晶氣體離開反應腔後，許多粉末往往沉積在製程尾氣管線路徑，以管路轉彎或侷限位置沉積最多 [20]。一段時間後必須對 Reactor Chamber 作沉積物清洗與其他尾氣通過之管路清洗與更換作業；磊晶製程機台保養作業包括反應腔清洗、含砷及磷的前、後 Particle Traps 及濾網更換與清洗、連通管路(Bellows)、尾氣管路、真空幫浦等設備零組件維護與潔淨，尤以 Particle Traps 必須定期更換及潔淨，在潔淨過程即有可能產生高濃度的砷與含磷及 III 族元素微粒 [21]。在這些內部沉積粉末中含有砷，處理時應預防經由空氣與人員接觸與吸入及滲入水中或泥土裡 [20]。曾有調查在砷化鎵磊晶製程對前 Particle Traps 更換

作檢測，砷化氫最大暴露大於 50ppb[22, 23]。對於砷化鎵分子束磊晶機台反應腔維修保養過程作檢測，測到砷化氫達 80ppb[24]。對於磊晶機台使用砷化氫氣體與三甲基鋁有機金屬，會沉積於反應腔，型成砷化鋁(aluminum arsenide)，在空氣中並不穩定，當維修刮除沉積物會造成燻燒或起火現象並伴隨砷化氫氣體釋出對作業環境造成危害，其反應式如下[25, 26]，故在 III-V 族半導體砷化鎵磊晶製程中因需使用砷化氫(100%)氣體及含砷化合物，其作業人員作業中潛藏砷暴露危害。



2.3 制定含採樣策略的作業環境測定計畫

暴露評估(Exposure Assessment)在工業衛生上係連接勞工作業現場有害物暴露實況與勞工外在健康病症之流行病學(Epidemiology)上重要環節，但職業疾病產生需是與作業相關，於鑑定上，與一般疾病之區分，端賴勞工之暴露史分析評估與其他生理上生物偵測(Biological Monitoring)指標之證據。所以暴露評估資料適當之表達以滿足未來暴露群流行病學評估分析所需是非常重要的；另一方面對於流行病學工具發現之新意義亦可列入暴露評估之參數，了解作業時態之狀況。

為避免勞工於作業場所因暴露有害物而造成對生體的傷害，「勞工安全衛生法」第七條規定雇主對於中央主管機關指定之作業場所應依規定實施作業環境測定，「勞工作業環境測定實施辦法」第二條定義作業環境測定：只為掌握勞工作業環境時態及評估勞工暴露狀況所實施之規劃、執行作業環境測定、數據紀錄與保存、後續改善規劃及計劃定期查核等。

依陳[27]的研究，1991 年美國工業衛生協會(AIHA)暴露評估策略委員會出版第一版職業暴露評估與處理策略，1998 年再針對某些觀念更新、新發現及理論推出第二版，其特色包括 1.同質性暴露群

改為相似暴露群組；2.職業暴露標準，為判斷工作場所暴露基本；
工具 3.暴露評估不在以測定數據為主，也可以定性方法評估；4.加入不確定性、健康效應資料、職業暴露標準等因素以判斷暴露等級及決定處理政策；5.暴露評估與處理策略必須藉由循環連續方法，重複認知危害、評估等，以增加了解暴露危害等級及改變控制措施；6.傳統職業衛生師強調以個人採樣測定空氣物污染、噪音暴露值等，但模式技術方法亦逐漸被廣泛接受，且可能成為將來評估方法；7.在職業暴露皮膚吸收途徑腳色越形重要；8.同時暴露於不同 SEGs 勞工，有較高健康風險，職業衛生師可藉由環測數據再加以分類定義其 SEGs；9.當暴露評估超過 10%OEL 時，即應開始環測數據或使用模式技術以定量職場危害程度。10.職場暴露資料以下六種資料決定：工作場所資料、環境危害物資料、工人資料、SEG 資料、環測資料、暴露評估資料；11.統計工具可以幫助職業衛生師更了解職場暴露之輪廓及判斷暴露程度。

依策略理論架構，依據 1998 年 AIHA 的暴露評估策略方法，各步驟略述如下：

1.開始階段

建立暴露評估策略，著眼於工業衛生師角色、暴露評估目標、暴露評估程式。

2.收集、建立基本資料

收集工作場所工作流程、勞工工作負荷、暴露危害物、工作環境狀況等。

3.暴露評估

(1)定義相似暴露群(SEGs)：

相似暴露群勞工有相同暴露實態，以工作製程、工作項目、工作性質、控制設備、原物料等資料收集，以區分不同相似暴露群。

(2)定義暴露輪廓：

暴露輪廓為勞工工作場所暴露強度估計，包括定性及訂量數據，剛開始資料收集以定性為主。

定性分析(初步危害分析)：危害評估總分之評分標準

危害評估總分=健康風險等級 HRR(health risk rank) x 不確定度 UR(uncertainty rating)

健康風險等級 HRR=健康危害等級 HER(health effect rank) x 暴露危害等級 ER(exposure effect rank)

(3)判斷相似暴露族群暴露輪廓是否可接受：

依據環境危害物估計暴露等級、健康危害嚴重性、不確定性、結合暴露實態、健康效應等資料作判斷。

- a. 暴露判斷不可接受：列為優先控制對象，發展健康危害控制。
- b. 暴露判斷不確定性：優先收即暴露能量資料，了解其危害性，以定性暴露實態。
- c. 暴露判斷可接受：再評估以證實繼續可接受。

(4)收集更多資料

資料收集須隨暴露實態和判斷而改變，包括項目如下：

- a. 暴露偵測：假如暴露模式不能相當特定化(characterize)，則個人採樣是必須的。
- b. 暴露模式：若變數太多使用數學模式技術估計新製程或產品暴露潛能，不易建立暴露之模式。
- c. 生物偵測：為掌握暴露模式之特定化，生物偵測是必須的，不份暴露危害物可經由皮膚吸收或偶然吸入接觸。
- d. 毒性數據：對於物質的毒性不了解，即無法正確的判斷暴露可接受性，故收集更多健康效應資料，將有助於評估暴露

之危害。

e. 流行病學數據：流行病學研究結果對於暴露是否可接受是有幫助的。

(5) 健康危害控制

使用暴露評估結果優先發展危害控制之場所，再利用健康診斷之偵測，共同作為工程改變控制良好與否之依據。

(6) 再評估

暴露輪廓與相似暴露群組隨時保持更新是很重要的，因此對於整體評估過程，必須定期活於製程有改變時，重新再評估動作，以確實掌況暴露輪廓。



三、分析方法

3.1 背景資料調查

為了有效執行作業環境測定，對於所規劃目標的背景資料必須充分收集，才能進一步執行策略規劃及後續工作，對於作業環境測定規劃的執行，調查之背景資料包括人員組織、製程機台分類、機台對應之化學品清單，化學品危害資訊蒐集，歷年環測資料整理、歷年健康檢查資料整理等，各項資料說明如下：

3.1.1 人員組織

依據我國目前勞工安全衛生法相關規章之規定及美國 AIHA 之建議(勞工安全衛生教材、A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposure)，規劃以個人採樣方式為主，區域採樣為輔，於測定結果顯示需進一步監測的部分，依循暴露評估之循環迴路的精神，輔助以區域採樣之測定。故先對於會在磊晶製程區內進行作業的人員及其職務做調查。

3.1.2 機台分類

為了掌握化學品可能的暴露來源，依機台的種類，將實廠內磊晶製程設備分類詳列。

3.1.3 機台對應化學品清單

為了對各項可能的危害有更深入的瞭解，須標定每一個機台使用的原物料種類。

3.1.4 化學品危害資料收集

配合原物料之物質安全資料表，整理化學品的危害資訊，包括物化特性，國內外暴露容許溶度標準等，以利評估其暴露危害程度。

3.1.5 歷年環測資料整理

整理歷年作業環境測定結果，作為規劃作業環境測定時參考。

3.1.6 歷年健康檢查資料整理

整理歷年健康檢查資料，作為規劃作業環境測定時參考。

3.2 危害鑑認

3.2.1 建立 SEG 架構圖

適當的將工作人員劃分為各種相似暴露群(SEG)，同一暴露群內每個人工作內容及暴露情境類似，可合併評估其暴露狀況，並可以抽樣的方式針對族群中個人或少數人進行作業環境測定，取得代表整體族群的暴露情形。根據危害等級評估結果實行有效的管理，可以針對全部工作人員、全部工作時間、全部健康危害物質進行系統性的評估，協助掌握工作場所內的全盤狀況，而非僅止於瞭解侷限於各種假設之下的特定工作狀況或針對少數人員(最高暴露群)的暴露狀況瞭解。

3.2.2 作業危害特性調查

評估一個相似暴露族群長時間的暴露情形，要考慮到該族群的一般性作業類型，即所從事的不同作業名稱，如機台操作、添加有機物...等，每個作業類型皆應包含其所使用的化學品、控制措施及使用時間等危害特性。除了評估相似暴露族群的長時間暴露之外，因為操作時間短暫而容易輕忽的非常態作業也可能造成極高的暴露情形，這種暴露時間較短的作業類型若是只進行長時間的測定，測定結果勢必會被其他的低暴露稀釋掉而被忽略，因此需要特別針對作業時間較短或非每天都進行的非常態作業進行評估，將所有非常態作業都定義出來。

3.2.3 定義作業場所

本次採樣點的規劃以人員採樣方式為主，區域採樣為輔。

3.3 初步危害分析

3.3.1 初步危害分析列表

將前述危害鑑認所定義出的 SEG、非常態作業，分別依可能的暴露危害物展開並列表，以利進行後續初步危害分析。評分項目共分三大項，分別是健康危害等級、暴露危害等級及不確定性，由於暴露對人員所造成的危害程度取決於暴露危害物本身的毒性及暴露的程度，故健康危害等級評分的項目包括健康危害程度、接觸情形、防護具等三項，依危害物本身的毒性、暴露頻率及個人防護加以分級；暴露危害等級分為物理狀態、暴露時間、抽風換氣及環境控制等四項，依危害物本身的物理性質（如揮發性）、污染控制設備進行分級；至於相關資料取得之不確定性，則考量歷年作業環境測定的結果及健康管理的狀況加以分級，對於未知性較大（其不確定性亦較高）或人員較擔心暴露的危害物，以風險評估的角度考量，應視為具有較高的危害。

3.3.2 初步危害分析評分

將上述鑑認後的分析項目，依照健康危害等級、暴露危害等級及不確定性，評分標準說明如 4.3 初步危害分析之說明。

3.4 實施作業環境測定

針對初步危害分析的資料，提出採樣策略，規劃採樣點，實施作業環境測定，作業環境空氣中總砷測定係以纖維素脂濾紙為採樣介質，經消化後，以石墨爐式原子吸收光譜儀測定。

3.5 健康影響評估研究

作業環境測定數據與年度健康檢查資料，經整理後將資料建立於 Excel 套裝軟體，以 SPSS for Windows 套裝軟體進行描述性統計

分析、t 檢定(t-test)，並設定顯著水準 $P=0.05$ ，期找出其中的相對性，確認高暴露風險與高健康風險作業，並研擬危害預防對策。

3.6 後續改善規劃

依據作業環境測定與健康檢查評估結果，調整作業環境測定計畫之採樣策略。



四、結果與討論

本章收集國內某發光二極體砷化鎵磊晶製程之背景資料，並對其執行作業環境測定與年度健康檢查結果進行統計與分析呈現，其研究結果如下：

4.1 背景資料整理說明

針對人員組織、機台及化學品對應、化學品危害資料、歷年環測數據等資料進行說明。

4.1.1 人員組織

磊晶區依職務區分為磊晶區主管、磊晶工程師、設備工程師、技術員，磊晶區組織圖如下圖 3。

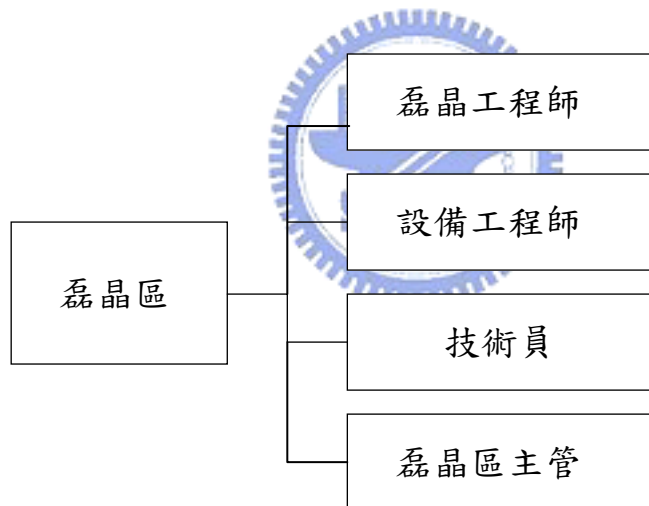


圖 3：人員組織圖

4.1.2 機台分類及化學品對應

磊晶區主要有三大設備，包括磊晶機台、Local scrubber 及清洗設備，磊晶機台的功能為進行砷化鎵基板的磊晶，Local scrubber 負責處理磊晶機台反應後的尾氣，清洗設備為化學水槽，用來清洗磊晶機台的管件、零件。各設備對應的化學品如圖 4。

4.1.3 化學品危害資料

磊晶區使用之化學品的 CAS No.、中英文名稱、化學式、容許暴露濃度等整理如表 3。



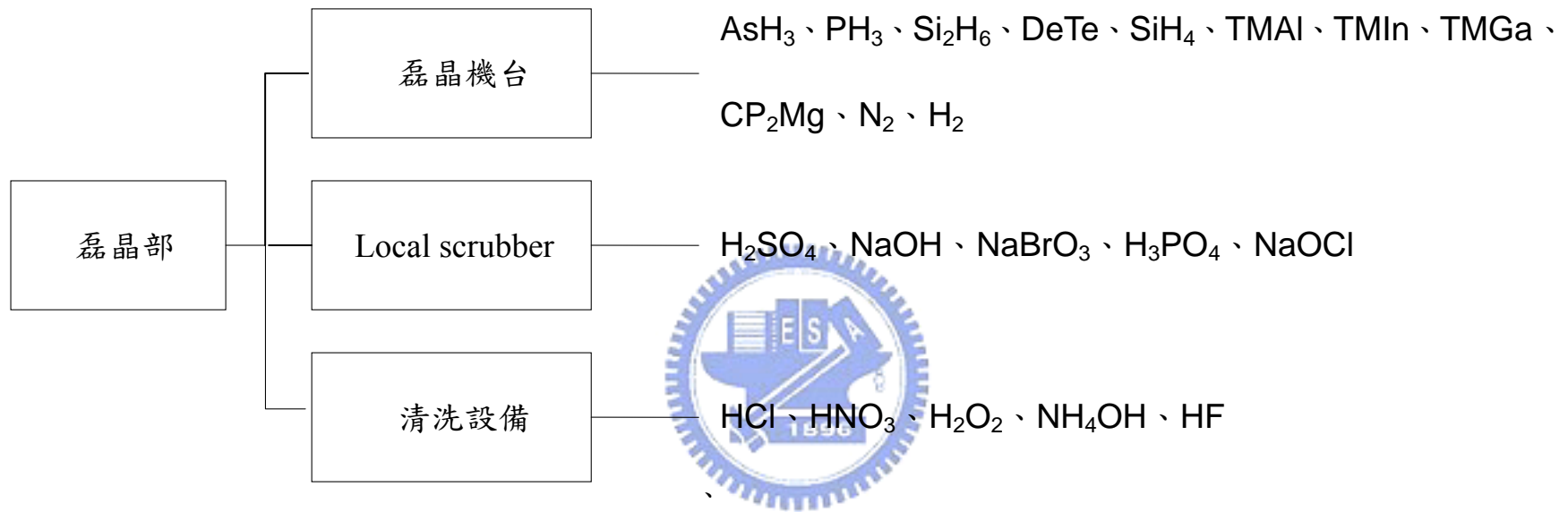


圖 4：機台及化學品對應圖

表 3：化學品危害資料

CAS No.	中文名稱	英文名稱	簡稱	化學式	容許暴露濃度 (ppm)			IDLH (ppm)	蒸汽壓 (mmHg @25°C)
					勞委會 (TWA)	OSHA (PEL)	ACGIH (TLV)		
1310-73-2	氫氧化鈉	Sodium Hydroxide	--	NaOH	2 mg/m ³	2 mg/m ³	2 mg/m ³	10	1.8X10 ⁻²¹
1590-87-0	乙矽烷	Disilane	--	Si ₂ H ₆	--	--	--	--	--
7440-38-2	砷	Arsenic	--	As	0.5 mg/m ³	0.01 mg/m ³	--	5 mg/m ³	2.5X10 ⁻⁹
7664-38-2	磷酸	Phosphoric Acid	--	H ₃ PO ₄	1 mg/m ³	1 mg/m ³	1 mg/m ³	1000 mg/m ³	2.1X10 ⁻¹¹
7664-93-9	硫酸	Sulfuric Acid	BOU	H ₂ SO ₄	1 mg/m ³	1 mg/m ³	1 mg/m ³	--	5.9X10 ⁻⁵
7681-52-9	次氯酸鈉	Sodium Hypochlorite	--	ClNaO	--	--	--	--	1.0X10 ⁻¹³
7697-37-2	硝酸	Nitric Acid	--	HNO ₃	2	2	2	25	63.1
7722-84-1	過氧化氫	Hydrogen peroxide	--	H ₂ O ₂	1	1	1	75	2.0
7784-42-1	砷化氫	Arsine	--	AsH ₃	0.05	0.05	0.05	3	--
7803-51-2	磷化氫	Phosphine	--	PH ₃	0.3	0.3	0.3	50	2.9X10 ⁺⁴
7803-62-5	矽甲烷	Silicon Tetrahydride	--	SiH ₄	5	--			
13494-80-9	碲及其化合物(以碲計)	Tellurium and compounds(as Te)	--	Te	0.1 mg/m ³	0.1 mg/m ³	0.1mg/m ³	25	--
7647-15-6	溴酸鈉	Sodium Bromide	--	NaBr	--	--	--	--	--
7664-39-3	氫氟酸	Hydrofluoric Acid	--	HF	3	C3	3	30	917.2

4.1.4 歷年環測數據

作業環境測定委由合格的檢測公司執行，歷年環測數據整理如下表 4。

表 4：歷年環測數據

資料來源	測定結果	備註
90.03	<1/100 PEL：氫溴酸、砷	測定項目：氫溴酸、砷
	<1/10 PEL：硫酸、磷酸 <1/100 PEL：氫氟酸、鹽酸、硝酸、 氫溴酸、氨	測定項目： 硫酸、磷酸、氫氟酸、鹽酸、 硝酸、氫溴酸、氨
90.12	<1/100 PEL：砷	測定項目：砷
	<1/2 PEL：硫酸 <1/10 PEL：氫氟酸、硝酸、鹽酸 <1/100 PEL：氫溴酸、氨	測定項目： 氨、硫酸、氫氟酸、氫溴酸、 鹽酸、硝酸
91.07	<1/100 PEL：鹽酸	測定項目：鹽酸
91.12	<1/10 PEL：氫溴酸	測定項目：氫溴酸
	<STEL：砷化氫、磷化氫	測定項目：砷化氫、磷化氫
92.08	<1/100 PEL：鹽酸、氫溴酸	測定項目：鹽酸、氫溴酸

4.2 危害鑑認結果

4.2.1 建立相似暴露群(SEGs)架構圖

以職務及作業內容為基礎進行相似暴露群之劃分，共分為磊晶工程師、設備工程師、磊晶技術員，然根據調查結果發現相同職務之作業內容所接觸之化學物質不同者，進行進一步細分，說明如下，劃分之情形如下圖 5 所示。

磊晶工程師：負責磊晶機台操作參數之設定及機台運作異常之疑難排解。

設備工程師：負責定期進行磊晶機台的保養，及異常發生時進行維修。

磊晶技術員：因作業內容所接觸之化學物質不同，區分為兩個相似暴露群(SEGs)，其一負責機台操作，其二負責產品的檢查及資料登錄。

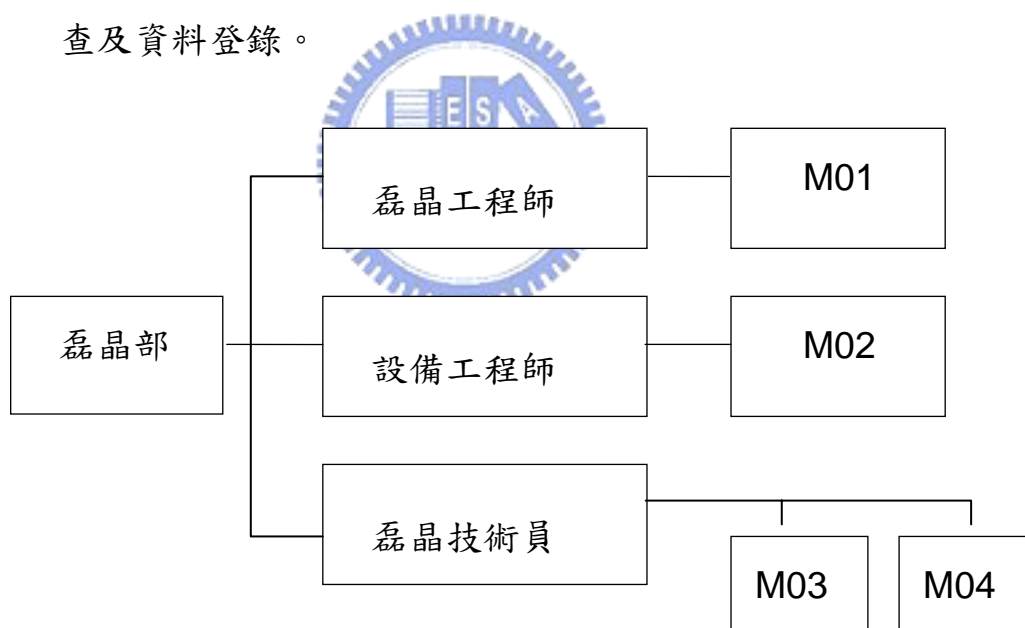


圖 5：SEG 架構圖

4.2.2 定義 SEG

根據 SEG 架構圖，將相似暴露的人員歸納在一起，並個別給予編號，表列各相似暴露族群所使用的化學品，整理成下表 5 的形式。

表 5：相似暴露族群(SEG)分類表

SEG 代號	說 明	人數	使用或可能接觸的化學品
M01	磊晶工程師	1	AsH ₃ 、PH ₃ 、Si ₂ H ₆ 、DeTe、SiH ₄ 、N ₂ 、H ₂ 、CP ₂ Mg、TMAI、TMGa、TMIn、砷化鎵晶片
M02	設備工程師	1	AsH ₃ 、PH ₃ 、Si ₂ H ₆ 、DeTe、SiH ₄ 、N ₂ 、H ₂ 、CP ₂ Mg、TMAI、TMGa、TMIn、H ₂ SO ₄ 、NaOH、NaBrO ₃ 、H ₃ PO ₄ 、NaOCl、HCl、HNO ₃ 、H ₂ O ₂ 、NH ₄ OH
M03	磊晶技術員	1	AsH ₃ 、PH ₃ 、Si ₂ H ₆ 、DeTe、SiH ₄ 、N ₂ 、H ₂ 、CP ₂ Mg、TMAI、TMGa、TMIn、砷化鎵晶片
M04	磊晶技術員	6	砷化鎵晶片

4.2.3 作業危害特性調查

以作業觀察、人員訪談的方式，收集各相似暴露族群作業區域、作業流程、使用之化學品、作業頻率及防護措施等資料，調查的結果彙整如表 6。

表 6：作業危害特性調查表

SEG	職別	職務	作業區域	作業流程(SOP)	設備或作業使用之化學品	可能接觸之化學品或反應物	作業頻率	可能暴露頻率	防護措施
M01	磊晶工程師	機台監控	控制室	1. 參數設定 2. 機台巡察 3. 疑難排解	AsH ₃ 、PH ₃ 、Si ₂ H ₆ 、 DeTe、SiH ₄ 、N ₂ 、H ₂ 、 CP ₂ Mg、TMAI、TMGa、 TMIn、砷化鎵晶片	砷	23 小時/週	23 小時/週	PVC 手套 活性碳口罩
M02	設備工程師	機台維修保養	1. 機台區 2. Local scrubber 區 3. 管件清洗區	1. 磊晶機台維修保養 I. 機台停機，N ₂ Purge II. 機台檢修、測漏 2. Local scrubber 維修保養 I. 磊晶機台停機，N ₂ Purge II. 機台檢修、測漏 III. 更換新藥劑 3. 零件清洗 I. 添加藥水 II. 將管件放入 III. 將洗淨之管件沖清水 IV. 將管件放入烤箱	AsH ₃ 、PH ₃ 、Si ₂ H ₆ 、 DeTe、SiH ₄ 、N ₂ 、H ₂ 、 CP ₂ Mg、TMAI、TMGa、 TMIn、H ₂ SO ₄ 、NaOH、 NaBrO ₃ 、H ₃ PO ₄ 、 NaOCl、HCl、HNO ₃ 、 H ₂ O ₂ 、NH ₄ OH、HF	砷、溴酸	1. 12 小時/週 2. 18 小時/週 3. 12 小時/週	1. 12 小時/週 2. 18 小時/週 3. 12 小時/週	PVC 手套 橡膠手套 濾罐式面罩

SEG	職別	職務	作業區域	作業流程(SOP)	設備或作業使用之化學品	可能接觸之化學品或反應物	作業頻率	可能暴露頻率	防護措施
M03	技術員	機台操作	控制區、機台區	1. 機台操作 2. 產品檢查	AsH ₃ 、PH ₃ 、Si ₂ H ₆ 、DeTe、SiH ₄ 、N ₂ 、H ₂ 、CP ₂ Mg、TMAI、TMGa、TMIn、砷化鎵晶片	砷	40 小時/週		PVC 手套 平面活性碳 口罩
M04	技術員	產品檢查及登錄	控制區、辦公室	1. 產品檢查 2. 資料登錄	砷化鎵晶片	砷	40 小時/週		PVC 手套 平面活性碳 口罩



4.3 初步危害分析

初步危害分析評分標準說明如下。

4.3.1 健康危害等級(Health Effect Rank ; HER)


由健康危害程度、接觸情形、防護具作為健康危害等級之判定，三項分數的平均值為健康危害等級的分數。計算公式為：

$$HER = (\text{健康危害程度} + \text{接觸情形} + \text{防護具}) / 3。$$

4.3.1.1 健康危害程度

以法定八小時日時量平均容許暴露濃度標準(PEL-TWA; 單位 ppm)為判斷基準，PEL-TWA 越低，則給予的評分越高。若沒有 PEL 值則以 TLV 值替代。若是未經定義 PEL 或 TLV 值，則參考美國環保署於 FIFRA 中建議的方法(如下表)進行評估。

美國環保署 FIFRA 危害評估指標



評分	Hazard Indicators		
	Oral LD ₅₀	Inhalation LC ₅₀	Dermal LD ₅₀
1	>5000 mg/kg	>20 mg/L	>20,000 mg/kg
2	500-5000 mg/kg	2-20 mg/L	2000-20,000 mg/kg
3	50-500 mg/kg	0.2-2 mg/L	200-2000 mg/kg
4	≤ 50 mg/kg	≤ 0.2 mg/L	≤ 200 mg/kg

來源：Code of Federal Regulations Title 40, Part 162.10(h)

4.3.1.2 接觸情形

依接觸的頻繁程度進行評分，分為正常操作、維修保養、異常處理，接觸越頻繁分數越高。

4.3.1.3 防護具

依防護具的周密性進行評分，分為活性碳口罩、濾毒罐式全面面罩、供氣式面罩，周密性越低則分數越高。

評分	健康危害等級 (HER)	接觸情形	防護具
1	PEL-TWA > 100	無接觸	Air mask
2	$100 \geq \text{PEL-TWA} > 10$	異常處理	濾毒罐式全面面罩
3	$10 \geq \text{PEL-TWA} > 1$	維修保養	活性碳口罩
4	PEL-TWA ≤ 1	正常操作	無防護具

4.3.2 暴露危害等級(Exposure-effect Rank ; ER)

暴露危害等級為物理狀態、暴露時間、抽風換氣及環境控制等四項分數的平均值。計算公式為：

$$\text{ER} = (\text{物理狀態} + \text{暴露時間} + \text{抽風換氣} + \text{環境控制}) / 4$$

4.3.2.1 物理狀態

本次規劃以蒸汽壓為評分標準，當危害物蒸汽壓越大，則表示其可能揮發的量越大，所以可能造成危害的機會越高，因此給予的分數越高。

4.3.2.2 暴露時間

使用或可能暴露時間係指執行該作業時，使用或可能暴露化學品的時間，本次規劃以每週作業小時數為評分標準，作業時間越長，分數越高。

4.3.2.3 抽風換氣

視進行作業時，控制危害物逸散的周密性，控制的方式不嚴謹，則給予的分數愈高。

4.3.2.4 環境控制

視進行作業時，鄰近作業相互污染的程度，可能互相污染的狀況越高，則給予的分數愈高。

評分	物理狀態	暴露時間	抽風換氣	環境控制
1	Solid, volatile liquid (VP <1 mmHg)	0~10 小時/週	密閉作業	獨立維修空間 獨立空調
2	volatile liquid (VP 1~10 mmHg)	10~20 小時/週	局部排氣 風速大於 0.5m/s	部分維修空間獨立 獨立空調
3	Non-respirable particulate, volatile liquid (VP 10~100 mmHg)	20~30 小時/週	稀釋或 個人防護具	獨立維修空間 空調系統共用
4	Gas, respirable particulate, volatile liquid (VP >100 mmHg)	>30 小時/週	無控制措施	維修空間未獨立 空調系統共用

4.3.3 不確定度(uncertainty rating ; UR)

不確定度為進行評估時，對該項作業暴露情形瞭解的程度，包括評定歷年進行作業環境檢測的結果、健康管理執行狀況等二項分數的平均值。計算公式為：

$$ER = (\text{環測評定} + \text{健康管理}) / 2$$

4.3.3.1 環測評定

依歷年作業環境採樣數據收集的齊全性及分析結果與法規的符合程度，作為評分依據，資料越齊全且檢測結果皆符合法規則分數越低。

4.3.3.2 健康管理

視關切員工健康檢查的程度進行評分，檢康管理執行越良善，則給予的分數愈低。

評分	環測評定	健康管理
1	現場未變更，近 2 次環測資料皆小於 1/100PEL_TWA	分析各類健檢結果
2	現場未變更，近 1 次環測資料皆小於 1/100PEL_TWA	除法令規定項目外，針對人員疑慮的項目，納入健康檢查特定項目
3	現場未變更，近 1 次環測資料皆小於 PEL_TWA，但人員有暴露疑慮	依法令規定執行健康檢查
4	現場變更，無相關環測資料	未執行健康檢查

4.3.4 總分

總分為健康危害等級(HER)、暴露危害等級(ER)、不確定度(UR)三項得分相乘所得到的乘積。計算公式為：

$$\text{總分} = \text{HER} \times \text{ER} \times \text{UR}$$

完成初步危害分析評分後，可以得到每一個相似暴露族群的每個危害物之相對危害性總分，將相似暴露族群危害性總分由大至小分別排序。

4.3.5 初步危害分析列表

初步危害分析列表詳見表 7。

4.3.6 初步危害分析評分

將上述鑑認後的分析項目，依照健康危害等級、物理狀態、使用頻率、控制措施、不確定性評分，所得結果詳見表 8。

4.4 採樣點規劃

實廠之作業物理性危害較少且顯明易判，可直接視現場需求進行測定，故本論文不多加贅述，然化學性危害因子較為複雜，經初步危害分析排序的結果，進行各暴露族群的砷暴露狀況進行採樣。因砷長期暴露者可導致癌症，磊晶區作業人員較擔心其暴露狀況，故採樣策略為針對砷之個人暴露狀況進行採樣，並進行區域採樣、擦拭採樣以做為輔助。

4.5 採樣結果

4.5.1 以砷化鎵磊晶製程而言，可能有砷暴露的環境包括磊晶機台區、管件清洗區，以 93 年至 95 年的環測數據來看，作業環境中的砷濃度分布範圍為 N.D.~0.134 mg/m³，平均值為 0.013 mg/m³，作業環境測定結果遠小於法規之容許濃度 0.5 mg/m³。

4.5.2 由擦拭採樣的結果可知管件清洗區的砷濃度略高於磊晶機台區，如圖 6。

4.5.3 作業環境中砷暴露的數據，以個人採樣及區域採樣來看，個人採樣的濃度略高於區域採樣；以採樣時間長短區分則看不出明顯分佈，如圖 7。採樣結果彙整如表 9 及表 10。

4.6 健康影響評估研究

因 Arsine(AsH₃) 氣體可引起溶血，故對各相似暴露群之年度健康檢查之血紅素測定數據進行分析，血紅素測定數值會整如表 11。

4.6.1 依 94 年度 M01(磊晶工程師)的樣本有 7 個，血紅素介於 13.5~15.8g/dl；M02(設備工程師)樣本有 12 個，血紅素介於 14.8~16.3g/dl；M03(技術員 1)的樣本有 14 個，血紅素介於 11.7~17.2g/dl，上述三個 SEG 皆為男性，而 M04(技術員 2)則皆為女性，其樣本有 6 個，血紅素介於 11.8~13.6g/dl，分析各 SEG 間之血紅素的變異數及獨立樣本，M02(設備工程師)

與 M01(磊晶工程師)顯著性檢定的結果為 0.004，故有顯著相關性存在，其餘 SEG 間無顯著相關性存在，如圖 8~圖 15。

4.6.2 依 93 年度 M01(磊晶工程師)的樣本有 6 個，血紅素介於 13.8~17.7g/dl；M01(設備工程師)樣本有 12 個，血紅素介於 14.7~17.1g/dl；M03(技術員 1)的樣本有 12 個，血紅素介於 11.9~16.5g/dl，上述三個 SEG 皆為男性，而 M04(技術員 2)則皆為女性，其樣本有 7 個，血紅素介於 11.9~13.7g/dl，分析各 SEG 間之血紅素的變異數及獨立樣本，皆無顯著相關性存在，如圖 9~圖 14。



表7：初步危害分析列表

SEG 代碼	測定項目	HER			ER				UR	
		PEL_TWA	接觸情形	防護具	物理狀態	暴露頻率	抽風換氣	環境控制	環境測定	健檢管理
M01	砷	4	2	3	1	1	4	3	3	2
M01	砷化氫	4	2	3	4	1	1	3	1	2
M01	磷化氫	4	2	3	4	1	1	3	1	2
M01	四氫化矽	3	2	3	4	1	1	3	1	2
M01	碲及其化合物(以碲計)	4	2	3	1	1	1	3	1	2
M01	乙矽烷	1	2	3	4	1	1	3	1	2
M02	砷	4	3	2	1	2	4	3	3	2
M02	碲及其化合物(以碲計)	4	3	2	1	2	3	3	3	2
M02	砷化氫	4	3	2	4	2	3	3	1	2
M02	磷化氫	4	3	2	4	2	3	3	1	2
M02	四氫化矽	3	3	2	4	2	3	3	1	2
M02	氟化氫	3	3	2	4	2	2	3	1	2
M02	硫酸	4	3	2	1	2	3	3	1	2
M02	硝酸	3	3	2	3	2	2	3	1	2
M02	溴酸	3	3	2	2	2	3	3	1	2
M02	乙矽烷	1	3	2	4	2	3	3	1	2
M02	磷酸	4	3	2	1	2	2	3	1	2

表 7：初步危害分析列表(續)

SEG 代碼	測定項目	HER			ER				UR	
		PEL_TWA	接觸情形	防護具	物理狀態	暴露頻率	抽風換氣	環境控制	環境測定	健檢管理
M02	氯化氫	3	3	2	2	2	2	3	1	2
M02	過氧化氫	3	3	2	2	2	2	3	1	2
M02	氫氧化鈉	3	3	2	1	2	3	3	1	2
M02	溴酸鈉	1	3	3	1	2	3	3	1	2
M02	四甲基銨水	1	3	2	3	2	2	3	1	2
M03	砷	4	2	3	1	3	4	3	3	2
M03	砷化氫	4	2	3	4	1	1	3	1	2
M03	磷化氫	4	2	3	4	1	1	3	1	2
M03	四氫化矽	3	2	3	4	1	1	3	1	2
M03	碲及其化合物(以碲計)	4	2	3	1	1	1	3	1	2
M03	乙矽烷	1	2	3	4	1	1	3	1	2
M04	砷	4	2	3	1	3	4	2	3	2

表8：初步危害分析評分

SEG 代碼	測定項目	HER 平均	ER 平均	UR 平均	總分
M03	砷	3.0	2.75	2.5	20.6
M02	砷	3.0	2.5	2.5	18.8
M04	砷	3.0	2.5	2.5	18.8
M01	砷	3.0	2.25	2.5	16.9
M02	碲及其化合物(以碲計)	3.0	2.25	2.5	16.9
M02	砷化氫	3.0	3	1.5	13.5
M02	磷化氫	3.0	3	1.5	13.5
M02	四氫化矽	2.7	3	1.5	12.0
M02	氟化氫	2.7	2.75	1.5	11.0
M01	砷化氫	3.0	2.25	1.5	10.1
M01	磷化氫	3.0	2.25	1.5	10.1
M02	硫酸	3.0	2.25	1.5	10.1
M03	砷化氫	3.0	2.25	1.5	10.1
M03	磷化氫	3.0	2.25	1.5	10.1
M02	硝酸	2.7	2.5	1.5	10.0
M02	溴酸	2.7	2.5	1.5	10.0
M01	四氫化矽	2.7	2.25	1.5	9.0
M02	乙矽烷	2.0	3	1.5	9.0
M02	磷酸	3.0	2	1.5	9.0
M02	氯化氫	2.7	2.25	1.5	9.0
M02	過氧化氫	2.7	2.25	1.5	9.0
M02	氫氧化鈉	2.7	2.25	1.5	9.0
M03	四氫化矽	2.7	2.25	1.5	9.0
M02	溴酸鈉	2.3	2.25	1.5	7.9
M02	四甲基銨水	2.0	2.5	1.5	7.5
M01	碲及其化合物(以碲計)	3.0	1.5	1.5	6.8
M01	乙矽烷	2.0	2.25	1.5	6.8
M03	碲及其化合物(以碲計)	3.0	1.5	1.5	6.8
M03	乙矽烷	2.0	2.25	1.5	6.8

表9：歷年個人採樣數據

測定類型	區域	測定項目	日期	採樣時間 (分)	濃度	單位	低於 偵測極限	偵測極限	備註	分析方法
人員	管件清洗區	砷	93.10.05	420	0.003	mg/m3	-	10ng/sample	作業員：	NIOSH7300&EPA Method 200.8
人員	磊晶機台區	砷	93.10.05	80	0.011	mg/m3	-	10ng/sample	作業員：	NIOSH7300&EPA Method 200.8
人員	磊晶機台區	砷	94.05.17	23	<0.005	mg/m3	是	0.2ug/sample	作業員：	NIOSH7300
人員	管件清洗區	砷	94.05.17	410	0.001	mg/m3	-	0.2ug/sample	作業員：	NIOSH7300
人員	管件清洗區	砷	94.10.28	113	<0.0005	mg/m3	是	0.1ug/sample	作業員：	勞 3002
人員	管件清洗區	砷	94.11.25	45	<0.0013	mg/m3	是	0.1ug/sample	作業員：	勞 3002
人員	磊晶機台區	砷	95.05.04	60	<0.001	mg/m3	是	0.1ug/sample	作業員：	勞 3002

表10：歷年區域採樣數據

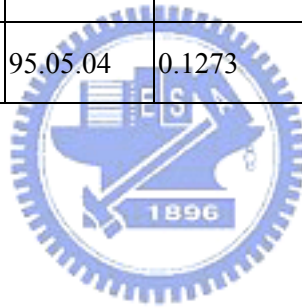
測定類型	區域	測定項目	日期	採樣時間 (分)	濃度	單位	低於 偵測極限	偵測極限	分析方法
區域	管件清洗區	砷	93.10.05	510	0.002	mg/m3	-	10ng/sample	NIOSH7300&EPA Method 200.8
區域	磊晶機台區	砷	93.10.05	80	0.134	mg/m3	-	10ng/sample	NIOSH7300&EPA Method 200.8
區域	磊晶機台區	砷	94.05.17	396	0.002	mg/m3	-	0.2ug/sample	NIOSH7300
區域	管件清洗區	砷	94.05.17	410	0.001	mg/m3	-	0.2ug/sample	NIOSH7300
區域	磊晶機台區	砷	95.05.10	15	<0.0001	mg/m3	是	0.0001	

表11：歷年擦拭採樣數據

測定類型	區域	測定點	測定項目	日期	濃度	單位	低於 偵測極限	偵測極限	分析方法
擦拭	管件清洗區	地面	砷	93.10.05	0.166	mg	-	10ng/sample	NIOSH7300&EPA Method 200.8
擦拭	管件清洗區	拉門	砷	93.10.05	0.14	mg	-	10ng/sample	NIOSH7300&EPA Method 200.8
擦拭	磊晶機台區	機台前門板	砷	93.10.05	0.006	mg	-	10ng/sample	NIOSH7300&EPA Method 200.8
擦拭	磊晶機台區	機台支架橫桿	砷	93.10.05	0.002	mg	-	10ng/sample	NIOSH7300&EPA Method 200.8
擦拭	管件清洗區	地面	砷	94.05.17	3.88	mg	-	0.2ug/sample	NIOSH7300
擦拭	磊晶機台區	磊晶機台保養	砷	94.05.17	1	mg	-	0.2ug/sample	NIOSH7300
擦拭	管件清洗區	地面	砷	94.10.28	<0.1	ug	是	0.1ug/sample	勞 3002
擦拭	管件清洗區	機台表面	砷	94.10.28	<0.1	ug	是	0.1ug/sample	勞 3002
擦拭	管件清洗區	機台表面	砷	94.11.25	0.1125	ug	-	0.1ug/sample	NIOSH6001

表11：歷年擦拭採樣數據(續)

測定類型	區域	測定點	測定項目	日期	濃度	單位	低於偵測極限	偵測極限	分析方法
擦拭	管件清洗區	地面	砷	94.11.25	0.1082	ug	-	0.1ug/sample	NIOSH6001
擦拭	磊晶機台區	石墨盤清潔區	砷	95.05.04	0.162	ug	-		
擦拭	磊晶機台區	烤箱區	砷	95.05.04	0.1536	ug	-		
擦拭	磊晶機台區	磊晶機台	砷	95.05.04	0.1273	ug	-		



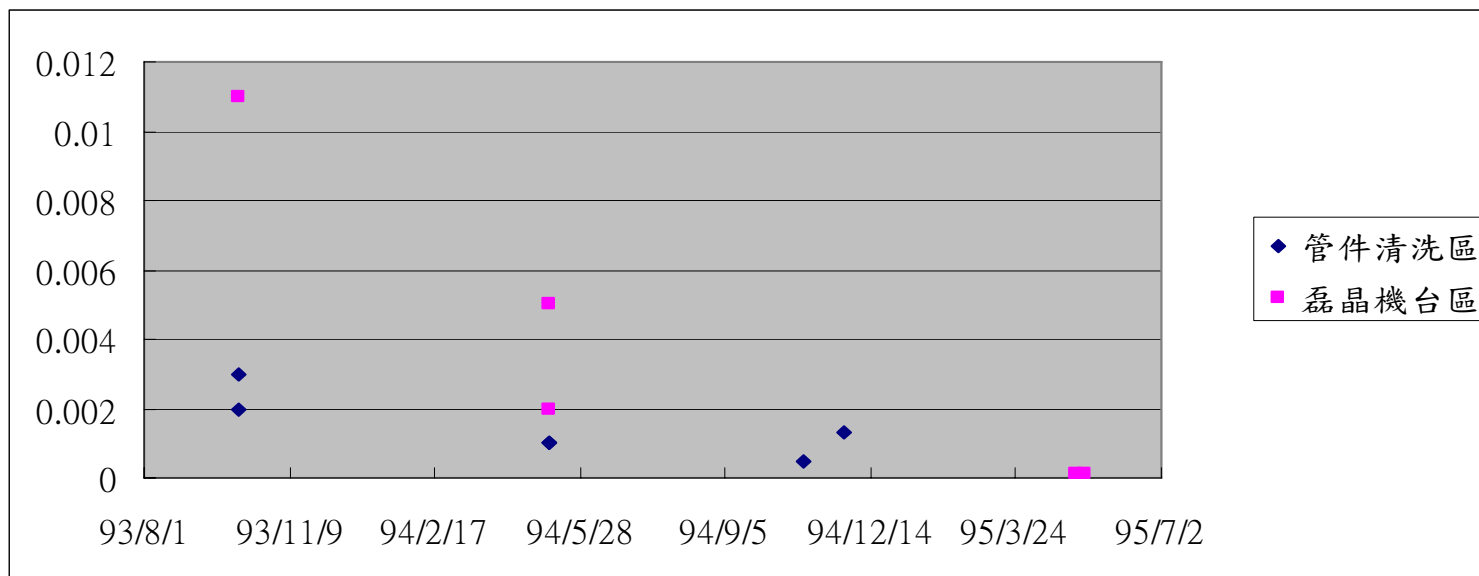


圖6：擦拭採樣結果比較圖

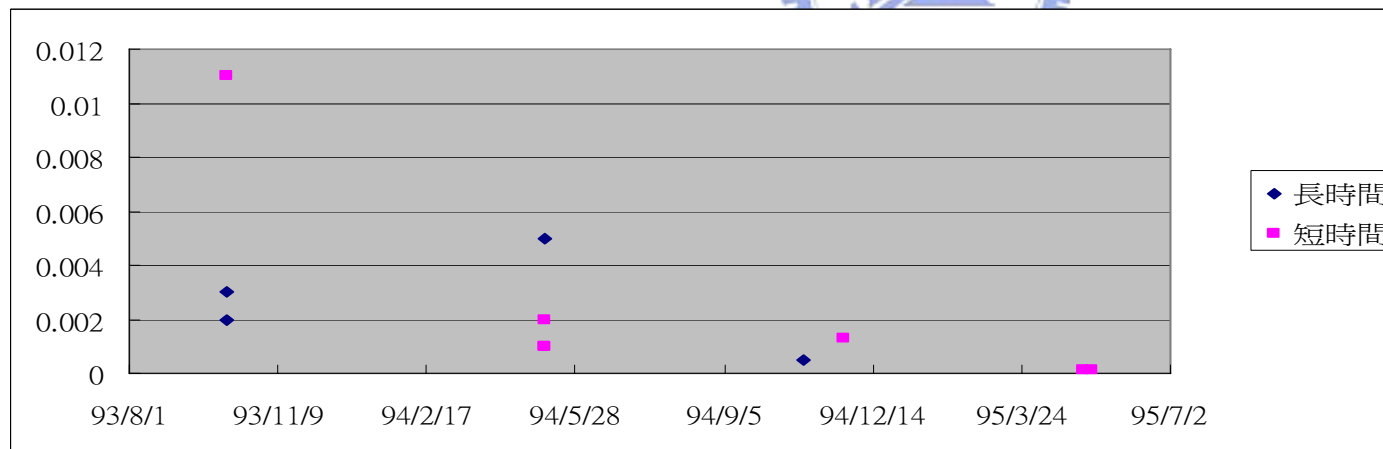
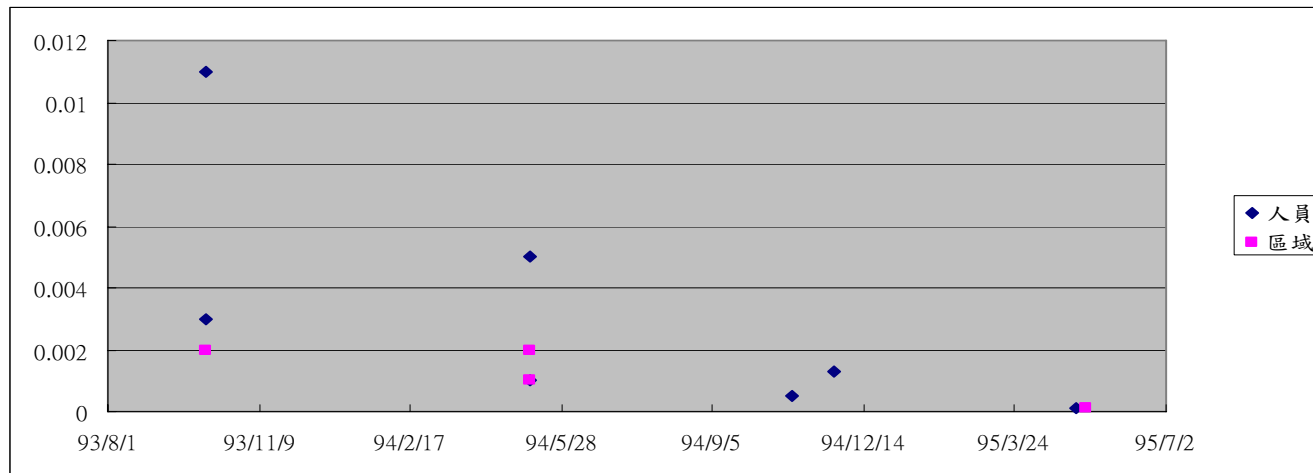


圖7：個人採樣與區域採樣結果比較圖

報表

血紅素

1:SEG1,2:SEG2	平均數	個數	標準差	變異數
1.00	12.5333	6	.8641	.747
2.00	12.9750	12	.8069	.651
總和	12.8278	18	.8288	.687

ANOVA 摘要表^a

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	Sig.
血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2 組間 (組合)	.780	1	.780	1.146	.300
組內	10.896	16	.681		
總和	11.676	17			

a. 由於少於三組，因此無法計算 血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2的線性量數。



獨立樣本檢定

	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定						
	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)	平均差異	標準誤差異	差異的 95% 信賴區間	
								下界	上界
血紅素 假設變異數相等	.130	.723	-1.070	16	.300	-.4417	.4126	-1.3164	.4330
不假設變異數相等			-1.045	9.491	.322	-.4417	.4227	-1.3905	.5071

圖8：94年M04(SEG1)與一般女性行政人員(SEG2)血紅素分析

報表

血紅素

1:SEG1,2:SEG2	平均數	個數	標準差	變異數
1.00	14.9286	14	1.4907	2.222
2.00	14.7857	7	.7734	.598
總和	14.8810	21	1.2762	1.629

ANOVA 摘要表^a

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	Sig.
血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2 組間 (組合)	.095	1	.095	.056	.816
組內	32.477	19	1.709		
總和	32.572	20			

a. 由於少於三組，因此無法計算 血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2的線性量數。



獨立樣本檢定

	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定						
	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)	平均差異	標準誤差異	差異的 95% 信賴區間	
								下界	上界
血紅素 假設變異數相等	2.367	.140	.236	19	.816	.1429	.6052	-1.1239	1.4096
不假設變異數相等			.289	18.898	.776	.1429	.4941	-.8918	1.1775

圖9：94年M03(SEG1)與M01(SEG2)血紅素分析

報表

血紅素

1:SEG1,2:SEG2	平均數	個數	標準差	變異數
1.00	15.8083	12	.5600	.314
2.00	14.9286	14	1.4907	2.222
總和	15.3346	26	1.2221	1.494

ANOVA 摘要表^a

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	Sig.
血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2 組間 (組合)	5.001	1	5.001	3.712	.066
組內	32.338	24	1.347		
總和	37.339	25			

a. 由於少於三組，因此無法計算 血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2的線性量數。



獨立樣本檢定

	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定						
	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)	平均差異	標準誤差異	差異的 95% 信賴區間	
								下界	上界
血紅素 假設變異數相等	6.628	.017	1.927	24	.066	.8798	.4566	-6.271E-02	1.8222
不假設變異數相等			2.046	17.085	.056	.8798	.4300	-2.701E-02	1.7865

圖 10：94 年 M02(SEG1)與 M03(SEG2)血紅素分析

報表

血紅素

1:SEG1,2:SEG2	平均數	個數	標準差	變異數
1.00	15.8083	12	.5600	.314
2.00	14.7857	7	.7734	.598
總和	15.4316	19	.8049	.648

ANOVA 摘要表^a

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	Sig.
血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2 組間 (組合)	4.623	1	4.623	11.168	.004
組內	7.038	17	.414		
總和	11.661	18			

a. 由於少於三組，因此無法計算 血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2的線性量數。



獨立樣本檢定

	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定						
	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)	平均差異	標準誤差異	差異的 95% 信賴區間	
								下界	上界
血紅素 假設變異數相等	.632	.437	3.342	17	.004	1.0226	.3060	.3770	1.6682
不假設變異數相等			3.062	9.734	.012	1.0226	.3340	.2756	1.7696

圖 11：94 年 M02(SEG1)與 M01(SEG2)血紅素分析

報表

血紅素

1:SEG1,2:SEG2	平均數	個數	標準差	變異數
1.00	15.6833	12	.8768	.769
2.00	15.0667	12	1.3714	1.881
總和	15.3750	24	1.1689	1.366

ANOVA 摘要表^a

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	Sig.
血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2 組間 (組合)	2.282	1	2.282	1.722	.203
組內	29.143	22	1.325		
總和	31.425	23			

a. 由於少於三組，因此無法計算 血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2的線性量數。



獨立樣本檢定

	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定						
	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)	平均差異	標準誤差異	差異的 95% 信賴區間	
								下界	上界
血紅素 假設變異數相等	1.256	.274	1.312	22	.203	.6167	.4699	-.3578	1.5911
不假設變異數相等			1.312	18.706	.205	.6167	.4699	-.3678	1.6012

圖 12：93 年 M02(SEG1)與 M03(SEG2)血紅素分析

報表

血紅素

1:SEG1,2:SEG2	平均數	個數	標準差	變異數
1.00	15.6833	12	.8768	.769
2.00	15.1000	6	1.5608	2.436
總和	15.4889	18	1.1375	1.294

ANOVA 摘要表^a

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	Sig.
血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2 組間 (組合)	1.361	1	1.361	1.055	.320
組內	20.637	16	1.290		
總和	21.998	17			

a. 由於少於三組，因此無法計算 血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2的線性量數。



獨立樣本檢定

	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定						
	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)	平均差異	標準誤差異	差異的 95% 信賴區間	
								下界	上界
血紅素 假設變異數相等	3.201	.093	1.027	16	.320	.5833	.5678	-.6204	1.7871
不假設變異數相等			.851	6.627	.425	.5833	.6856	-1.0565	2.2232

圖 13：93 年 M02(SEG1)與 M01(SEG2)血紅素分析

報表

血紅素

1:SEG1,2:SEG2	平均數	個數	標準差	變異數
1.00	15.0667	12	1.3714	1.881
2.00	15.1000	6	1.5608	2.436
總和	15.0778	18	1.3905	1.934

ANOVA 摘要表^a

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	Sig.
血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2 組間 (組合)	.004	1	.004	.002	.963
組內	32.867	16	2.054		
總和	32.871	17			

a. 由於少於三組，因此無法計算 血紅素 * 1:SEG1,2:SEG2的線性量數。



獨立樣本檢定

	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定						
	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)	平均差異	標準誤差異	差異的 95% 信賴區間	
								下界	上界
血紅素 假設變異數相等	.244	.628	-.047	16	.963	-3.333E-02	.7166	-1.5525	1.4858
不假設變異數相等			-.044	8.996	.966	-3.333E-02	.7501	-1.7304	1.6637

圖 14：93 年 M02(SEG1)與 M03(SEG2)血紅素分析

五、結論與建議

本研究主要以某一家砷化鎵磊晶製程工廠之勞工暴露狀況進行評估，以作業觀察的方式，將機台與作業人員在進行機台操作時之作業內容及作業時間等劃分為各種相似暴露族群(SEG)，藉由作業環境的測定及健康檢查的結果進行分析，了解砷化鎵磊晶製程工作人員砷暴露情況，並作為未來建立適當環境採樣策略之依據，研究之重要結果與建議如下：

5.1 結論

5.1.1 作業環境測定分析發現

- (1) 作業環境測定結果遠小於法規之容許濃度 0.5 mg/m^3 。
- (2) 依擦拭採樣的結果，管件清洗區的砷濃度略高於磊晶機台區。
- (3) 個人採樣的濃度略高於區域採樣。

5.1.2 健康檢查結果分析

- (1) 94 年度 M02(設備工程師)與 M01(磊晶工程師)顯著性檢定的結果為 0.004，故有顯著相關性存在。
- (2) 93 年度分析各 SEG 間之血紅素的變異數及獨立樣本，皆無顯著相關性存在。

5.2 建議

5.2.1 作業環境測定中砷濃度遠小於法規標準應是各 SEG 間無顯著相關的原因，但不排除作業環境為中央空調，若維修保養機台時含砷之化合物未完全被抽風設備抽走，而擴散於所有磊晶作業區，則所有 SEG 暴露量相同而導致。而 94 年設備工程師與磊晶工程師之血紅素有顯著相關性存在，可能原因有

二，其一為磊晶工程師壓力大或運動量不足，造成血紅素較低，其二為設備工程師維修保養機台時有配帶個人防護具，但磊晶工程師進行機台巡察或疑難排除時所帶的個人防護具不適當。

5.2.2 個人採樣的採樣時間是維修保養的時間，屬短時間採樣，而區域採樣的時間約一個工作天，採樣時間較長可能稀釋了濃度，應是造成個人採樣濃度略高於區域採樣的原因。

5.2.3 由擦拭採樣的結果可知作業環境中的地面、設備上有微量的砷，建議現場應加強維修後的環境整潔，避免砷微粒被帶到其他作業場所，而設備維修人員應拋棄受污染的手套，以免因接觸其他物件而使其他物件受二次污染。另磊晶區域作業人員也應注意個人衛生，休息或下班前應進行手部、臉部的清潔，才能進食。

5.2.4 本次研究未進行擦拭布的含砷量分析，建議未來可依維修不同種類的機台、零件，調查擦拭布產出的地點、分析其含砷量，以確認擦拭布的危害性，以免造成環境污染。

5.2.5 本研究僅對單一公司執行砷作業勞工間作業環境暴露與各 SEG 在健檢中血紅素濃度高低的相關性進行研究，無法以此代表該行業作為砷作業人員暴露健康指標之建立；建議未來可同時進行多家砷化鎳磊晶製程公司砷作業勞工砷暴露各項生物指標採樣研究，並進行相關分析，以建立完整砷化鎳磊晶作業勞工之健康指標。

5.2.6 若公司年度健檢的經費足夠，建議磊晶區作業人員上班前及下班後血中砷及尿中砷的測定，以利比對砷暴露人員間及非暴露族群間之關係，也可做為評估工程控制及個人防護具的有效性之依據。但測定結果不建議公開，以避免員工不清楚暴露相關性之意義，僅針對檢測結果的數值比對濃度高低，

易造成員工心理恐慌。

- 5.2.7 因作業環境中砷的含量可能與產品技術、機台年限、防治設備效率有關，建議的砷化鎳磊晶製程產業應以各種方式長期監督其環境中的砷濃度及人員健康狀況。
- 5.2.8 因砷化鎳磊晶製程產業屢見新公司成立或合併等經營模式，本研究未進行被評估勞工的工作年資調查，若未來有相關的評估案，建議加入工作年資調查，以確認工作年資與人員健康是否有對應性。也建議砷化鎳磊晶製程產業的環安或廠護人員對於新進人員除應建立其體格檢查資料外，也進行工作經歷的調查。
- 5.2.9 本次作業環境測定依據評估所鑑定出之結果進行，然應視作業環境測定現場狀況進行修正，並根據職業暴露評估及管理策略的迴路精神，將未能進行採樣評估的部分逐漸於後續的暴露評估規劃中完成。
- 5.2.10 設備維修保養的時間與作業環境測定廠商的時間未必能配合，故建議環安衛人員進修報考化學性因子作業環境測定人員，以方便於進行設備維修保養時，合法進行作業環境測定。

參 考 文 獻

1. 劉宗榮，毒性化學物質性質與危害特性，毒性化學物質專業技術管理人員訓練，1999。
2. Chen, C.J., Chang Y.C., Lin, T.M., Wu, H.Y., 「Malignant neoplasms among residents of black-foot disease-endemic area in Taiwan: high-arsenic artesian well water and cancers」, *Cancer Res.*,45:5895-5899, 1985.
3. Chen, C.J., Chang Y.C., You, S.L., Lin, T.M., Wu,H.Y., 「A retrospective study on malignant neoplasms of bladder,lung,and liver in blackfoot disease endemic area in Taiwan.」, *Br.J.Cancer.*53:399-405,1986.
4. Wu, M.M., Kuo, T.L., Hwang, Y.H., Chen, C.J. 「Dose-response relation between arsenic concentration in well water and mortality from cancers and vascular diserses.」 *AM.J.Epidemiol.*130(6):1123-1132,1989.
5. Wu, M.M., Chen, K.P., Tseng, W.P., Hsu,C.L., 「Epidemiologic studies on blackfoot disease-I.Prevalence and incidence of the diease by age,sex,tear,population snd geographic distribution.」 *Memoirs Col.Med.Nat.Taiwan Univ.*7:33-50,1961.
6. Vahter, M., 「Species differences in the metabolism of arsenic compounds.」 *Appl. Organomet. Chem* 8:175-182,1994.
7. Vahter, M.,「Genetic polymorphism in the biotransformation of inorganic arsenic and its role in toxicity」, *Toxico.Lttt.*112-113:209-217,2000.
8. 潘致弘，半導體業砷作業勞工健康危害評估研究(II)-急性危害預防與健康指標研究，勞工安全衛生研究所，中華民國九十二年三月
9. 行政院勞工委員會：勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準修正說明，1995。

- 10.行政院環境保護署：飲用水水質標準 Available from:
<http://www.epa.gov.tw>
- 11.29 Code of Federal Regulation 1910.1018. U.S. Occupational Safety and Health Administration, 1997. Available from:
<http://www.healthsafetyinfo.com/articles/29cfr1910-1018.htm>
- 12.TLVs and BEIs. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 2001.
- 13.黃耀輝、王滢琇、李志洋，半導體作業人員砷暴露及其影響，工業安全科技，台北，民國八十九年
- 14.Hwang YH, Chen SC. Monitoring of Low Level Arsenic Exposure During Maintenance of Ion Implanters. Archive of Environmental Health; 55: 347-354,2000.
- 15.林龔樑，「砷化鎵磊晶製程砷暴露危害預防與員工健康指標研究」，交通大學，碩士論文，民國九十年七月。
- 16.Environmental Health in the Semiconductor Industry. Environmental Health Perspectives; 107:A 454-455,1999.
- 17.張勁燕，半導體製程設備，五南圖書，台北，民國九十年，二版。
- 18.Manasevit, H.m:”Single Crystal Gallium Arsenide on Insulating Substrates”. Appl.Phys. Lett. 12(4 ,156-159), 1968.
- 19.張承明、陳俊勳，光電廠危害預防研究，勞工安全衛生研究所，中華民國九十一年二月
- 20.A.S.Thompson, G.S. Tompa, P.A. Zawadzki.M.Mckee, C. Beckham, A.powers, A.Gurary , K.Moy, KN.E.Schumaaker,” A synergistic Approach to Environmental Concerns in Large Scale MOCVD Processes ” Mat. es.Soc.Symp.Proc.Vol.344,1994.

21. Anthony Jones ,Unique Industrial Hygiene Concerns in Gallium Arsenide(GaAs) Device Manufacture Facilities , SESHJ Journal Volume 15#3/4 pp.40-48.
22. Baldwin DG, Stewart JH, ” Chemical and radiation hazards in semiconductor manufacturing “ Solid State Technology 32(8): 131-135, 1989.
23. Asom MT, Mosovsky J, Liebenguth Re ,Zilko JL.,” Transient arsine generation during opening of solid source MBE chambers, Journal of Crystal Growth”,112(2-3):597-599,1991.
24. Mosovsky J.A. ,Rainer D, Moses T, Quinn WE. Transient hydride generation during III-V semiconductor processing, Appl. Occup. Environ.Hyg.1992;7(6):375-384.
25. W.E.Hoke and P J. Lemonias ,”Practical Aspects of Solid source molecular beam epitaxial growth of phosphorus-containing films ”, J . Vac. Sci. Technol.B, Vol.17,No.5,Sep/Oct 1999 :p.p.2009-2014
26. Anthony Jones , ”Unique Industrial Hygiene Aspects in Gallium Arsenide Device Manufacturing Facilities” presented by :Sarah Gibson , PPT.
27. 陳國明, 「聚脲樹脂合成皮工廠二甲基甲醯胺相似暴露群評估」, 中國醫藥大學, 碩士論文, 民國九十四年一月

