

國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

碩士論文

新興材料危害評估方法之研究-
以薄膜太陽能製程二乙基鋅為例

Investigation of New Materials Risk Assessment -
Case Study of Thin Film Solar Cell Diethyl Zinc Process

研究生：黎漢德
指導教授：傅武雄 教授
李文亮 教授

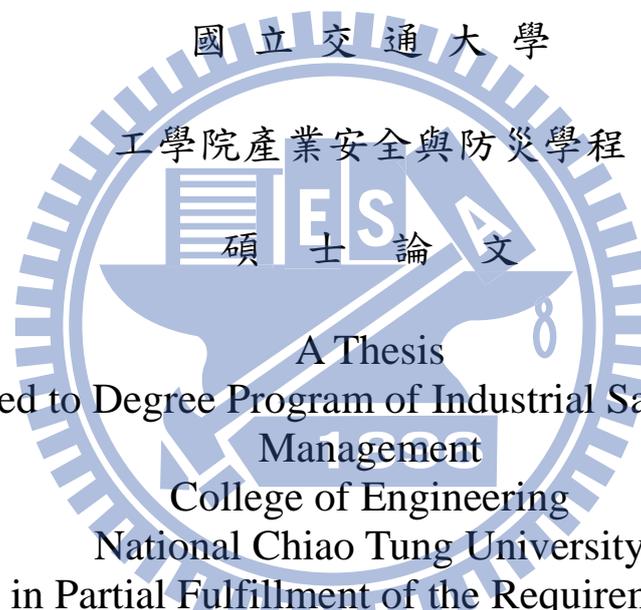
中華民國 一百零一年八月

新興材料危害評估方法之研究-
以薄膜太陽能製程二乙基鋅為例

Investigation of New Materials Risk Assessment -
Case Study of Thin Film Solar Cell Diethyl Zinc Process

研 究 生：黎漢德
指 導 教 授：傅武雄
李文亮

Student : Han-Te Li
Advisor : Dr. Wu-Shung Fu
Dr. William Lee



A Thesis
Submitted to Degree Program of Industrial Safety and Risk
Management
College of Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Industrial Safety and Risk Management
August 2012
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 101 年 8 月

新興材料危害評估方法之研究-以薄膜太陽能製程二乙基鋅為例

學生：黎漢德

指導教授：傅武雄 教授
李文亮 教授

國立交通大學工學院產業安全與防災學程

摘要

本論文之目的研討為薄膜太陽能電池透明導電氧化物製程，新興材料之二乙基鋅危害評估方法實務研究。

起因為國內薄膜太陽能電池技術，大量使用金屬有機化合物，而現行法規未列管且未具有完整危害預防資料，例如：危害辨識及風險評估的完整資訊，以致於在危害物管理及職業災害防止上形成漏洞，如何評估使用之新興材料危害，有效建立二乙基鋅危害預防技術，實為當務研究課題。

推動新興材料危害防制與應變技術策略規劃，針對使用新興材料及其化學品衍生之製程安全技術、系統建置、儲存輸送風險評估，展開新興產業安全評估與控制技術建置。

本研究首先針對太陽光電產業製程主要使用危害物質分類，與二乙基鋅特性、管理機制、供應系統風險評估及危害分析進行探討，並與國、內外法規管理規範比較，研析二乙基鋅製程安全風險評估納入管理規範建議

以薄膜太陽能電池透明導電氧化物 MOCVD 製程為風險評估對象，針對製程中使用大量金屬有機化合物，研擬風險控制對策，以降低金屬有機化合物操作使用與意外洩漏之潛在危害。

針對某薄膜太陽能電池廠之二乙基鋅(Diethyl Zinc)製程，供應系統端製程危害分析，作為製程安全最佳化設計之基礎，建立一套完善的製程安全管理系統。

本研究之製程安全評估方法，首先執行初步危害分析(PrHA)之現場危害查核表 (Checklist)，針對二乙基鋅(Diethyl Zinc)製程使用危害性物質的設備機台執行評估，進一步使用危害與可操作性分析(HazOp)安全評估方法，製作薄膜太陽能電池廠之二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統風險評估表，以辨識出造成重大潛在危害事件發生之基本原因，並建立新興材料之二乙基鋅危害、控制改善建議。

依據二乙基鋅製程與儲存危害分析評估結果，研擬出適用於薄膜太陽能電池新興材料二乙基鋅風險控制方法。以建立相關應變、滅火與防救措施技術。

關鍵詞：薄膜太陽能電池、二乙基鋅(Diethyl Zinc、DEZn、DEZ)

Investigation of New Materials Risk Assessment- Case Study of Thin Film Solar Cell Diethyl Zinc Process

Student: Han-Te Li

Advisor: Dr. Wu-Shung Fu
Dr. William Lee

Degree Program of Industrial Safety and Risk Management
College of Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

The aim of this article is to investigate the hazard assessment method for an emerging material, Diethyl Zinc, which is used in the transparent conductive oxide process for thin film solar cells.

The domestic thin film solar cell industry extensively uses metal-organic compounds. However, full hazard prevention information, such as complete information for hazard identification and risk assessment, are not listed in existing regulations, which results in a legal loophole of hazard management and occupational disaster prevention. Thus, it is an important research topic to investigate how to assess the hazards of the emerging materials and establish the prevention techniques for Diethyl Zinc.

Furthermore, the promotion of the hazard prevention and the strategy planning to deal with a contingency for emerging materials are also included. Focused on the risk assessment for the process safety techniques, system establishment, storage, and transportation of the emerging materials and their chemical derivatives, the emerging industry safety assessment and control technique establishment are developed.

This study first categorizes the main hazardous materials used in the manufacturing process of photovoltaic industry. In the following is the discussion of the characteristics, management mechanisms, risk assessment of the supply system, and hazard analysis. Comparing with domestic and foreign regulations and management practices, the process risk assessment of Diethyl Zinc is analyzed and recommended to be included in the management practices.

Taking the transparent conducting oxide MOCVD process in thin film solar cells as the subject for risk assessment, make supplement and modification of the material safety data sheets of metal-organic compounds. Focused on the lots of metal-organic compounds used for the process, develop the risk control strategy to reduce the potential hazards during operation or accident leakage of metal-organic compounds

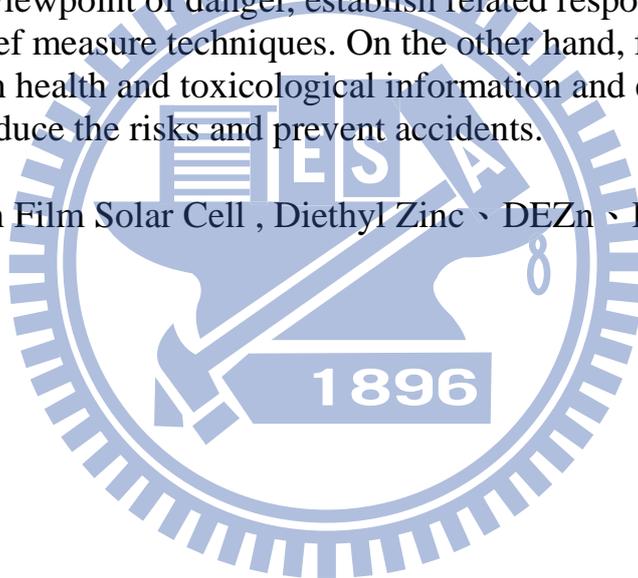
The process hazards of Diethyl Zinc process in certain thin film solar cell company process flow and in the supply chain are analyzed to give a basis for

optimal design of process safety, and establish a comprehensive process safety management system.

The process safety assessment in this study first performs a Preliminary Hazard Analysis (PrHA). Assess the hazards of the equipments used in the Diethyl Zinc process. Furthermore, the Hazard and Operability Study (HazOp) safety assessment methods are used to produce the supply system risk assessment table of Diethyl Zinc for thin film solar cell companies to identify the root causes of the significant potential hazardous events. The hazard control and recommendations for improvement of the emerging material Diethyl Zinc are also assessed.

Based on the assessment results of the hazard analysis for the process or storage of Diethyl Zinc, develop a appropriate process safety risk assessment for emerging material Diethyl Zinc used in thin film solar cell industry. On the one hand, from the viewpoint of danger, establish related responses, fire fighting, and disaster relief measure techniques. On the other hand, from the viewpoint of hazard, establish health and toxicological information and exposure prevention techniques to reduce the risks and prevent accidents.

Key word : Thin Film Solar Cell , Diethyl Zinc 、DEZn 、DEZ ◦



誌謝

本論文撰寫期間，最感謝直屬指導教授 傅 教授武雄與共同指導教授 李 教授文亮，在學務繁忙之中抽空悉心每月論文會議指導、敦敦教誨，從論文撰寫技巧與觀念，指引明確論文題目方向、架構，目標訂定與方法研析指導，費心的對本論文提出精闢的見解與指正，惠蒙賜予寶貴意見使論文更臻完整，從發散到收斂各階段，逐步完成論文研究目的與預期成果。

在此學習的學涯期間，承蒙兩位恩師的栽培與教導，讓學生受益良多，在此謹致最高的敬意與謝意。

特別感謝公司內主管 潘建勝與吳文仁經理、蘇明皓、羅丞洲、廖振國及陳雅珠等同仁們，在各方面的熱心協助，提供撰寫期間重要的知識與資料、建議。另感謝至公司實習生張瓊雲、林佳瑩，協助研析彙整寶貴資料。

感謝在寫作期間，同班同學鄭堯鴻、陳立偉、呂伍豐、何國華、黃汶軒、高李新、孫至遠、張儷馨等相互激勵鼓舞及設備廠商、學長姐、摯友提供資料、意見與經驗，要感謝的不勝枚舉，有諸位的鼎力幫忙，方能使本論文研究能夠順利完成，在此致上十二萬分的謝意。

最後，最真心感謝深愛我的至親家人們，關心與支持使我的工作與學業能無後顧之憂，使我一路走來都能順利。再次感謝所有幫助過我的人，僅將此喜悅與大家共享，祝福大家永遠健康快樂、幸福安康。

黎漢德 僅誌於交通大學
中華民國一百零一年八月

目 錄

中文摘要	.....	i
Abstract	.....	ii
誌謝	.....	iv
目錄	.....	v
表目錄	.....	viii
圖目錄	.....	x
第一章	緒論.....	1
1.1	研究背景與動機.....	1
1.2	研究目的.....	1
1.3	研究成果.....	2
1.4	研究範圍及流程.....	2
第二章	文獻回顧.....	5
2.1	太陽光電產業製程簡述.....	5
2.2	太陽光電產業製程主要使用危害物質.....	9
2.3	太陽光電產業製程使用危害物質分類.....	9
2.4	二乙基鋅(Diethyl Zinc) 危害分析與預防策略.....	11
2.5	二乙基鋅(Diethyl Zinc) 危害特性分析.....	11
2.6	二乙基鋅(Diethyl Zinc) 管理機制.....	15
2.7	二乙基鋅(Diethyl Zinc) 供應系統風險評估.....	16
2.8	二乙基鋅(Diethyl Zinc) 國、內外法規管理規範比較分析	19
第三章	研究方法及流程.....	24
3.1	製程風險危害研究流程.....	24
3.1.1	製程危害評估分析.....	24

3.1.2	初步危害分析(Preliminary Hazard Analysis, PrHA).....	25
3.1.3	危害與可操作性分析 (HazOp) 分析.....	25
3.1.4	危害與可操作性分析 (HazOp) 風險參數.....	26
第四章	案例分析討論與結果.....	30
4.1	二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統，初步危害分析 (Preliminary Hazard Analysis, PrHA) 結果.....	30
4.2	二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統，危害與可操作性分析 (HazOp) 結果、討論.....	32
4.3	二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統，危害與可操作性分析 節點描述.....	32
4.4	二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第一階段 Push gas、 Local scrubber 系統流程圖.....	32
4.5	二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第二階段 Local DEZn Supply 系統流程圖.....	35
4.6	二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第三階段 DEZn Process Supply 系統流程圖.....	35
4.7	HazOp 危害與可操作性分析總表-製程安全評估結果...	35
4.8	二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統，風險控制方法.....	52
第五章	結論與建議.....	64
5.1	二乙基鋅(Diethyl Zinc) 製程供應系統製程安全評估歸 納結論.....	64
5.2	建議.....	66
參考文獻	.....	67

附錄 一	矽甲烷(Silane)與二乙基鋅溶液(Diethyl zinc) 物質安全 資料比較表.....	68
附錄 二	廠務 Diethyl Zinc System 安全衛生設施現場查核表...	74



表目錄

表 1	薄膜太陽能電池製造-製程主要使用危害物質.....	10
表 2	薄膜太陽能電池製造-危害化學物質.....	10
表 3	二乙基鋅(Diethyl Zinc) 物質特性.....	12
表 4	二乙基鋅(Diethyl Zinc) 反應方程式.....	12
表 5	Diethyl Zinc 與 Silane 國內外法規管理規範比較分析表..	20
表 6	引導字.....	27
表 7	製程參數.....	27
表 8	偏移矩陣.....	27
表 9	防護措施種類.....	28
表 10	嚴重性等級.....	29
表 11	可能性等級.....	29
表 12	風險矩陣表.....	29
表 13	廠務 Diethyl Zinc System 安全衛生設施現場查核彙總表.	31
表 14	廠務 Diethyl Zinc System 安全衛生設施現場查核 結果 不符合項目.....	31
表 15	危害與可操作性分析 (HazOp) 節點描述總表.....	34
表 16	二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第一階段 Push gas、 Local scrubber 系統 HazOp 危害與可操作性分析工作表	35
表 16.1	危害與可操作分析工作表 (1-1).....	35
表 16.2	危害與可操作分析工作表 (2-1).....	36
表 16.3	危害與可操作分析工作表 (3-1).....	37
表 16.4	危害與可操作分析工作表 (3-2).....	38
表 17	二乙基鋅 (Diethyl Zinc)供應系統之第二階段	

	Local DEZ Supply HazOp 危害與可操作性分析工作表...	41
表 17.1	危害與可操作性分析工作表 (4-1).....	41
表 17.2	危害與可操作性分析工作表 (5-1).....	42
表 17.3	危害與可操作性分析工作表 (6-1).....	43
表 18	二乙基鋅 (Diethyl Zinc)供應系統之第三階段 DEZ Pressure Supply HazOp 危害與可操作性分析工作表.....	44
表 18.1	危害與可操作性分析工作表 (7-1).....	44
表 18.2	危害與可操作性分析工作表 (8-1).....	45
表 18.3	危害與可操作性分析工作表 (9-1).....	46
表 18.4	危害與可操作性分析工作表 (10-1).....	47
表 18.5	危害與可操作性分析工作表 (11-1).....	48
表 19	HazOp 危害與可操作性分析總表.....	49
表 19.1	製程安全評估結果 (12-1).....	49
表 19.2	製程安全評估結果 (12-2).....	50
表 19.3	製程安全評估結果 (12-3).....	51
表 20.1	查核項目：特殊氣體 (Special Gas).....	74
表 20.2	查核項目：排氣系統.....	77
表 20.3	查核項目：撒水系統.....	77
表 20.4	查核項目：其它滅火系統.....	79
表 20.5	查核項目：火警系統.....	79
表 20.6	查核項目：被動式防火及煙控系統.....	79
表 20.7	查核項目：局部廢氣處理設備.....	80
表 20.8	查核項目：中央廢氣處理設備.....	81

圖目錄

圖 1	研究流程圖.....	4
圖 2	太陽能電池材料種類.....	4
圖 3	薄膜太陽能電池簡圖.....	6
圖 4	薄膜太陽能電池製程流程圖.....	6
圖 5	薄膜太陽能電池透明導電薄膜層製程流程圖.....	7
圖 6	薄膜太陽能電池模組化製程流程圖.....	7
圖 7	二乙基鋅(Diethyl Zinc) 物質反應特性.....	14
圖 8	二乙基鋅(Diethyl Zinc)Local supply Room Safety Design-1.....	14
圖 9	二乙基鋅(Diethyl Zinc)Local supply Room Safety Design-2.....	18
圖 10	二乙基鋅(Diethyl Zinc)製程危害評估流程圖.....	23
圖 11	HazOp 分析方法流程圖.....	28
圖 12	二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統流程圖.....	33
圖 13	二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第一階段 Push gas、Local scrubber system 系統流程圖.....	33
圖 14	二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第二階段 Local DEZn Supply 系統流程圖.....	40
圖 15	二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第三階段 DEZn Process Supply 系統流程圖.....	40
圖 16	二乙基鋅(DEZn)中央配送站內室外消防栓示意圖.....	55
圖 17	二乙基鋅(DEZn)中央配送站內火警探測器示意圖.....	55
圖 18	室內火災實驗之溫度曲線圖.....	55

圖 19	火災之發展速度與時間關係曲線圖.....	56
圖 20	二乙基鋅(DEZn)儲存櫃示意圖圖.....	56
圖 21	二乙基鋅(DEZn)儲存櫃承漏盤示意圖.....	56
圖 22	二乙基鋅(DEZn)中央配送站防溢門檻示意圖.....	59
圖 23	二乙基鋅(DEZn)中央配送管線雙套管不鏽鋼材質示意圖.....	59
圖 24	二乙基鋅(DEZn)中央配送內管線洩漏偵測器示意圖.....	59
圖 25	二乙基鋅(DEZn)中央配送空調風管增設防火閘門示意圖.....	63
圖 26	FM-54 Natural gas and gas piping 管線貫穿樓板示意圖...	63



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

太陽光電產業為我國高科技產業在21世紀中最主要的新興產業，有鑑於太陽能廠持續的擴建，使得廠房潛藏了更多安全衛生之風險，若製程單元一旦發生防護失效或洩漏等情形，除了可能導致設備損壞、環境污染外，嚴重時可能造成人員傷亡或火災爆炸。

目前在市場銷售壓力下，高科技產品普遍生命週期短暫，面臨產業世代更新的速度愈來愈快，新一代的生產線使用之物質也愈來愈新且複雜，然而對許多大量製造的創新製程使用化學品，產業安全衛生管理部門反應面臨新興材料快速引進，雖然原料提供廠商提供新興材料之安全資料表(MSDS)，唯大多數新興材料危害資訊有欠缺或無法獲得足夠資訊的情形，以致於產業安全衛生管理部門無法完成其危害評估。

由於這些新興材料多未具有完整危害預防資料，例如：危害辨識及風險評估的完整資訊，以致於在危害物管理及職業災害防止上形成漏洞，如何評估使用之新興材料危害，並能確認資料的正確與完整性是極其重要的課題。

參考勞動檢查機構規劃之「半導體電子業作業場所可能使用法令未列管之危害物質納入列管之清單」[3]資料內含41種化學物質，由此顯示在高科技行業使用上，仍具多種危害化學物質，需進行風險評估。

因此，規範化學品製造商與供應商提供詳實化學品安全資訊，進行風險評估是極為迫切的課題。

本研究以TCO Process MOCVD製程為風險評估對象，補充修正金屬有機化合物的MSDS，針對製程中使用大量金屬有機化合物研擬風險控制對策，以降低金屬有機化合物操作使用與意外洩漏之潛在危害。

1.2 研究目的

本研究主要在調查薄膜太陽能製程其使用二乙基鋅金屬有機化合物危害性。彙整太陽能製程及廠務資料，確認產業製程/作業範圍，分析建立合理風險評估流程，確認操作使用時所可能暴露風險，並依MSDS 危害辨識著手，分析歸納關鍵製程與其化學危害特性，主要內容包括：

1. 蒐集薄膜太陽能製程金屬有機化學氣相沉積製程與廠務資料。
2. 普查化學氣相沉積製程中使用金屬有機化合物危害特性。
3. 調查化學氣相沉積製程使用設備現況。

- 4 調查薄膜太陽能廠緊急應變計畫與氣體供應流程危害控制現況。
- 5 建立初步整合性金屬有機化合物風險評估並完成危害預防策略

1.3 研究成果

金屬有機化合物 二乙基鋅(C_2H_5)₂Zn，其危害特性為，發火性液體第一級、禁水性物質第三級、腐蝕／刺激皮膚物質第 1A 級、嚴重損傷／刺激眼睛物質第一級、水環境之危害物質（慢毒性）第一級、水環境之危害物質（急毒性）第一級、急毒性:吞食第三級、特定目標器官系統毒性-單次接觸第二級、特定目標器官系統毒性-多次接觸第二級。

國內近期引進薄膜太陽能電池技術，大量使用有機金屬化合物，有必要進行整合型計畫，有效建立二乙基鋅危害預防技術。

推動新興材料危害防制與應變技術策略規劃，針對使用新興材料及其化學品衍生之安全技術、系統建置評估、儲存輸送風險評估、製程安全技術各項，展開新興產業安全評估與控制技術建置。

本研究將薄膜太陽能電池新興材料製程安全風險評估為主軸，從製程危害分析之初步危害分析(PrHA)，及危害與可操作性分析(HazOp)著手，進行二乙基鋅製程與儲存危害評估方法討論，研擬出適用於二乙基鋅風險控制方法。以建立相關應變、滅火與防救措施技術。

1.4 研究範圍與流程

1.4.1 研究範圍：

本研究以薄膜太陽能電池製程之透明導電氧化物製程，新興材料之二乙基鋅危害評估，依據太陽能製程危害物質及二乙基鋅特性危害分析，針對現行法令規範，製程安全技術、系統建置、儲存輸送風險評估等檢討，檢視危害防制與應變技術。

1.4.2 研究方法：

1. 文獻探討法：確定研究目標，依據目標廣泛收集資料，包括太陽光電產業製程主要使用危害物質與分類、二乙基鋅危害特性分析與管理機制，資料、論文、書籍、雜誌...等。並收集二乙基鋅(Diethyl Zinc)國、內外法規管理規範比較分析，進行有系統的整理、分析與探討。
2. 個案研究：某薄膜太陽能電池廠之二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統為主要研究對象，探討系統工程設計、操作維護和緊急事故及應變處理等方面採取相應措施，降低危害風險，預防事故發生補足部分，

再輔以製程危害評估分析。

3. 比較分析：針對上述數據資料，並歸納比較所得結果，並就原因進行探討，與配合國內外參考文件與風險評估具體對策等內容，比較後進行依收集之風險評核資料加以分類比較分析，訂出初步危害分析研討及危害與可操作分析表格，檢視風險等級與建議改善措施。
4. 歸納整理：經過各風險評級方法後建立危害與可操作分析表格。分析二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統，設計規劃安全機制與緊急應變與風險控制關聯性，並加以整合性分析，以建置風險矩陣與優先改善先後順序。
5. 製程危害評估表格表建立：初步危害分析研討及危害與可操作分析表格，製作薄膜太陽能電池廠之二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統風險評估表，以評估新興材料之二乙基鋅危害。
6. 結論與建議：針對現行法規二乙基鋅管理之規範比較、分析，將二乙基鋅製程安全風險評估納入管理規範建議，建置二乙基鋅製程系統安全基準及新興材料二乙基鋅危害預防技術。

1.4.3 研究流程：

如(圖 1) 所示，各流程單元說明如下。



圖 1 研究流程圖

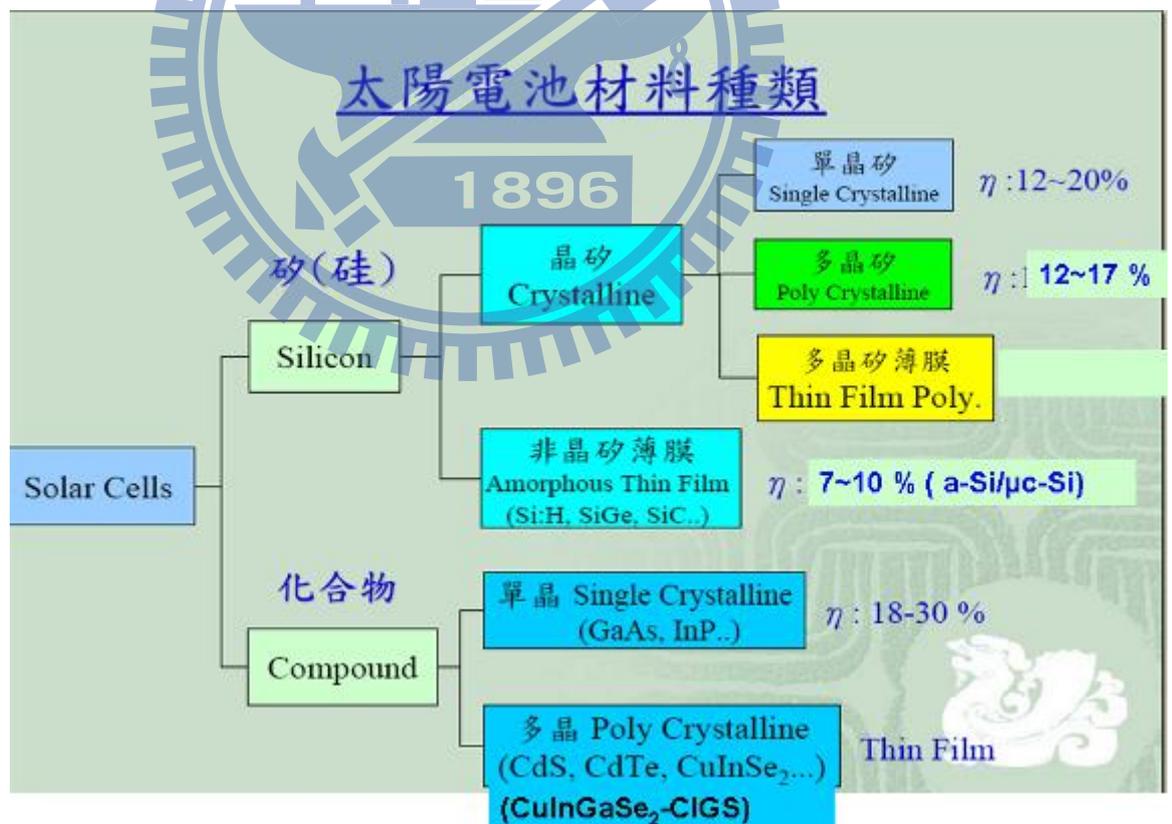


圖 2 太陽能電池材料種類 [1]

第二章 文獻回顧

2.1 太陽光電產業製程簡述

太陽能電池除了單晶矽、多晶矽、還有非晶矽這三大類，如(圖2)薄膜太陽能電池簡圖其中薄膜太陽能電池所耗費的成本較低，製程上的步驟也比單晶、多晶太陽能少的許多，缺點是良率是三種裡最低，在加上模組後，良率就掉到剩下7~10%，若能增加良率，可將薄膜面積變大增加吸收面積提高效率，即有可能成為最有效的電力。

薄膜太陽能電池只需薄薄一層就能將光子的能量有效吸收，用不到昂貴的矽晶板，使用便宜玻璃、陶瓷或其他金屬板等，大大節省材料成本，最重要的課題為調高良率，製程步驟如(圖3)所示：

相對太陽能電池來簡單許多，先將玻璃基材上濺鍍一層錫氧化物導體電極膜層，計算出薄膜太陽能電池，依需求的電壓和電流特性確定出寬度，以精密雷射切割劃線，接著氣相沈積出PIN-PIN雙層結構半導體，濺鍍一層光反射性高的氧化鋅到前一步驟中的半導體膜上，增強其光子的吸收度，再用雷射精密切割一次，在背面濺鍍一層鋁做為薄膜太陽能電池的電極，如同氧化鋅層一樣，這個電極也可作為一個背面反射鏡，最後再用雷射切割鋁電極，形成薄膜太陽能電池。接下來將對每個步驟做詳細說明介紹如下：

在玻璃基材上濺鍍出一層透明導電薄膜層(Transparent Conductive Oxide Layer)，有助於提高光透率，低表面電阻，好的歐姆接觸電極這層主要組成材料是氧化鋅、氧化銻錫、參雜鋁的氧化鋅，以及參雜氟鋁的氧化銻錫等，接著使用雷射切割蝕刻出圖案，將其清洗乾淨。

將 SiH_4 沈積在剛剛那層TCO透明導電薄膜層上，形成p-i-n非晶矽薄膜層(a-Si Absorber layer)，主要是利用電漿強化化學氣相沈積(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, PECVD)，此步驟關鍵在於，有效的控制氣流、壓力、時程和射頻(RF)沈積各層半導體膜，尤其是I-layer部分。

在中間的緩衝薄膜層(Interlayer or Buffer Layer)方面，其基本組成材料是氧化鋅以及參雜鋁的氧化鋅等；然而主要使用製作技術是濺鍍。再用PECVD沈積p-i-n微晶矽薄膜層($\mu\text{-Si}$ Absorber Layer)，變成為雙層a-Si結構。在濺鍍擴散阻隔薄膜層(Barrier Layer)，其基本組成材料是氧化鋅及參雜鋁的氧化鋅等，此層主要功用是增加吸收光子的能力。此步驟完成後需第二次的雷射切割，精密切割氧化鋅與半導體層。接著在背面也濺鍍上被面抗反射薄膜層(Anti-Reflection Layer)，主要成分也是氧化鋅與參雜鋁的氧化鋅。再做第三次的雷射切割，便完成薄膜太陽能電池。製程流程圖如(圖4、圖5、圖6)所示：[1]

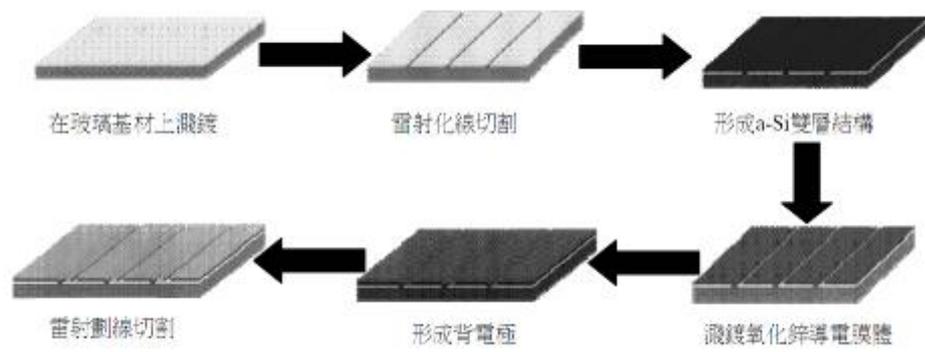


圖 3 薄膜太陽能電池簡圖 [2]

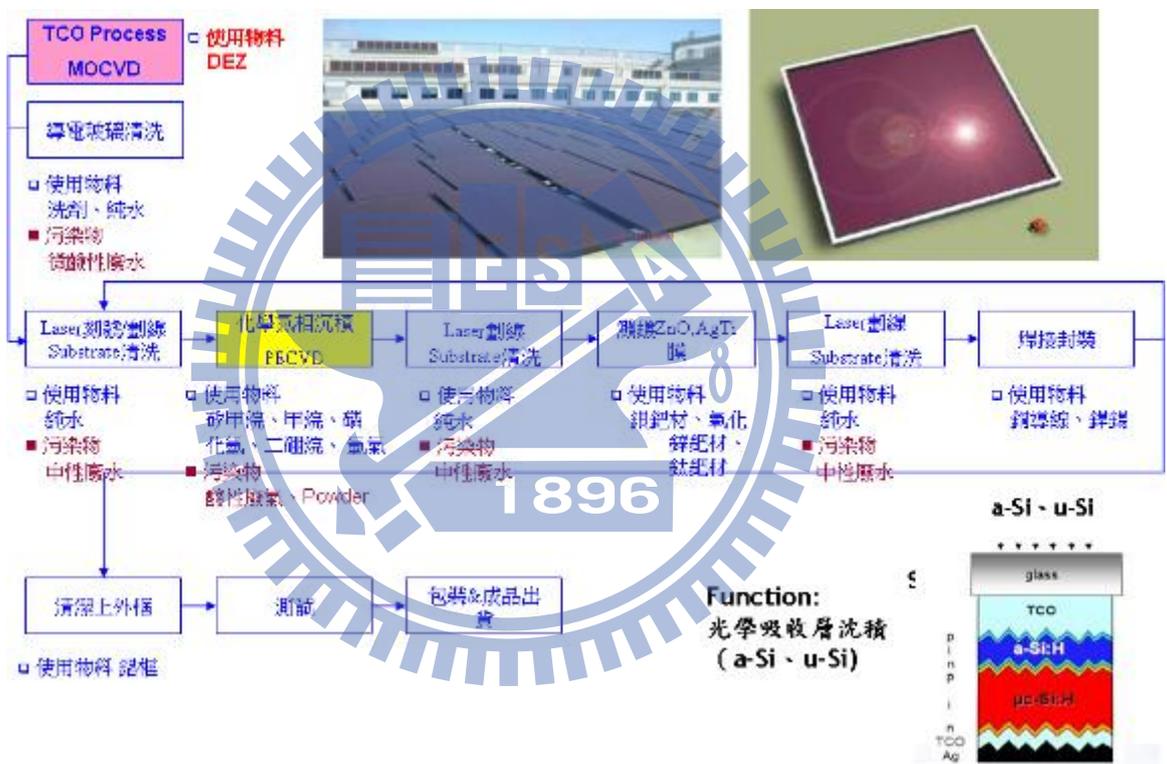


圖 4 薄膜太陽能電池製程流程圖

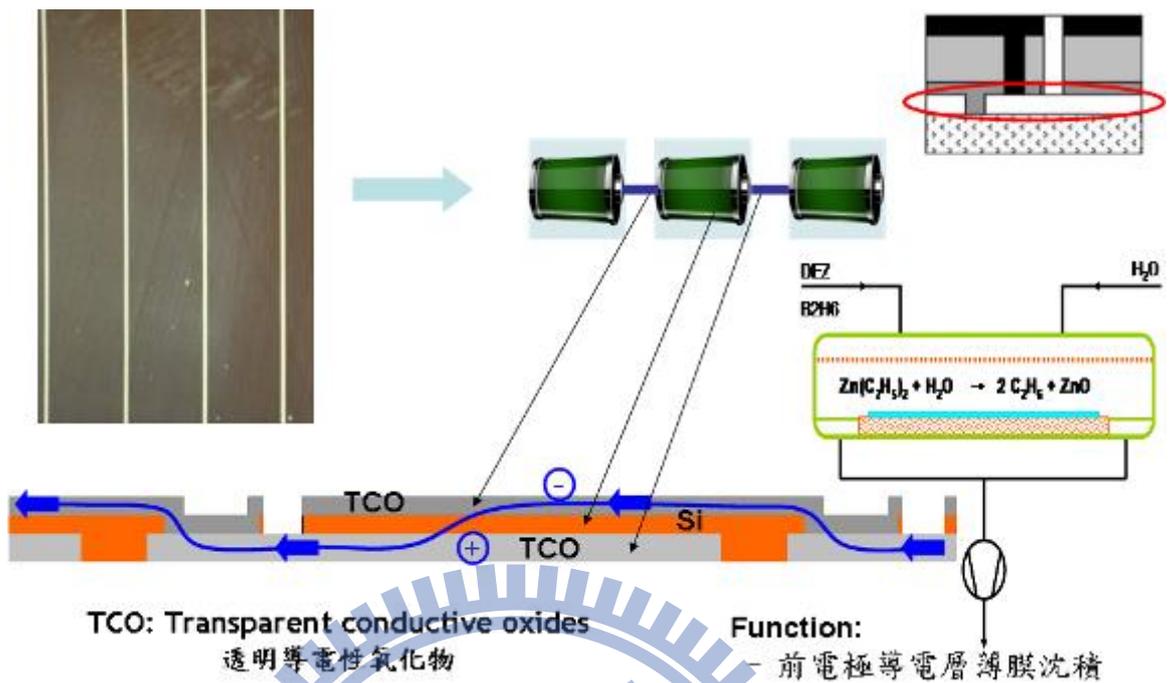


圖 5 薄膜太陽能電池透明導電薄膜層製程流程圖 [2]

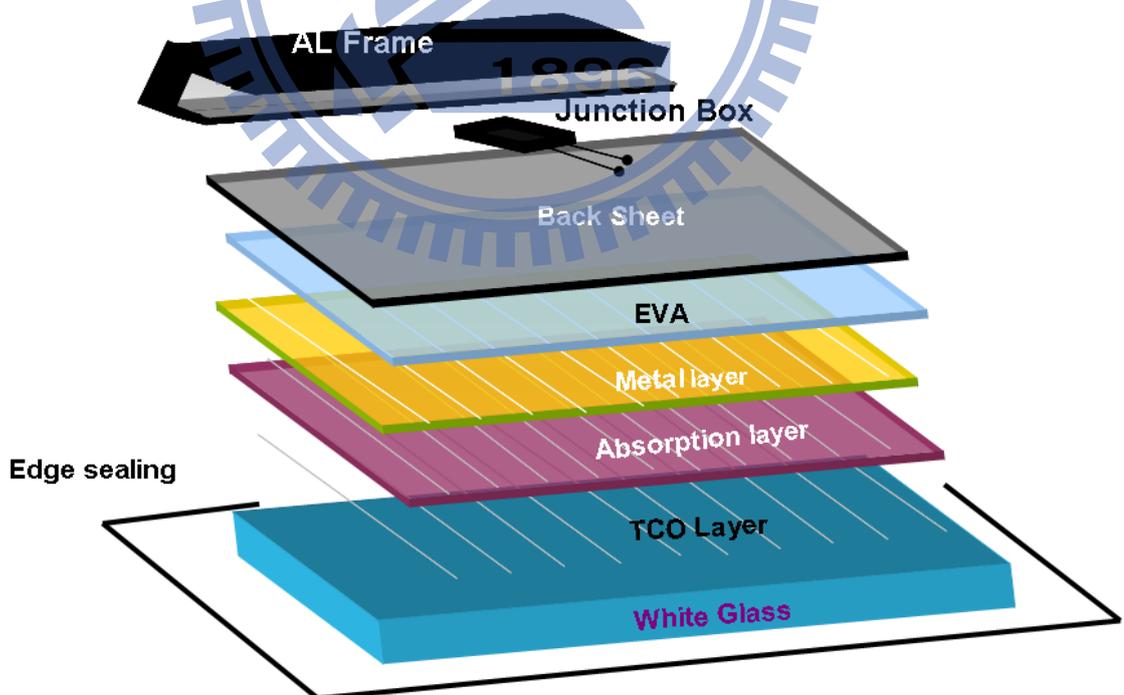


圖 6 薄膜太陽能電池模組化製程流程圖

目前生產的非晶矽薄膜太陽能電池主要為微晶矽 (a-Si / μ c-Si) 疊層薄 (Tandem)。其生產技術首先是在玻璃基板上製造一層透明導電氧化物(TCO-Transparent Conductive Oxide films glass)，然後再通過PECVD方法沉積p型、i型和n型薄膜，最後再用濺鍍做背電極。

工業化的TCO製作方法有濺鍍法(Sputter)和化學氣相沉積法(CVD)，分別在玻璃基板上形成ZnO、Al或ZnO薄膜。作大面積和大量的沉積時，濺鍍和MOCVD是較好的方法，尤其是MOCVD，它對薄膜性質優異的控制和適合量產的能力。

化學氣相沉積通常使用的原料為二乙基鋅(DEZn)，其與水反應後生成ZnO和C₂H₆。

由於目前TCO玻璃必須由國外進口，因此自製TCO玻璃具有掌握關鍵材料，無缺貨疑慮且有成本及產品特性較佳的優勢，可採用當地玻璃無需仰賴進口，減少運輸及庫存的成本。

薄膜太陽能電池製程簡單，廠內未使用如半導體及TFT-LCD產業中之常見之有機溶劑，PECVD為其主要製程設備，因製程需求，必須使用到SiH₄量較大，以往鋼瓶供應方式已不符使用，必須改成BSGS(Bulk Special Gas System)供應，使用量增大，導致危害風險也大幅提升，若製程中一旦發生防護失效或洩漏等情形，可能造成嚴重的人員傷亡或火災爆炸。因此在建廠期間，除了以國內的相關法規為考量外，同時參酌SEMI、NFPA、FM之要求及先進國家半導體安全標準或基準為主要考量。

Amorphous 薄膜太陽能電池之製程，主要是在TCO玻璃基板上，利用PECVD及Sputter機台分別鍍上 Amorphous Si膜及metal 金屬膜所組成，依電路設計需求，在各層分別採用Laser進行Cell及pattern切割、清洗、模組封裝等不同操作，經由數十道步驟、費時三至四天後始完成。太陽能玻璃板，其中主要光反應發電層(amorphous Si)採用化學電漿氣相沉積 (PECVD)鍍膜之製造。

薄膜太陽能模組採用類似TFT LCD或半導體廠之相關製造技術，工廠所使用原料、產品、副產品、主要化學反應式及觸媒分述如下：

- 1 使用原料：玻璃基板SiO₂
- 2 主要產品：薄膜太陽能電池、Tandem Cell太陽能電池、建築物整合太陽能板(BIPV)。
- 3 化學反應式
 - (1) $\text{SiH}_4 \text{ RF} \rightarrow \text{Si(S)}+2\text{H}_2(\text{g})$
 - (2) $\text{SiH}_4 + \text{B}_2\text{H}_6 + \text{CH}_4 \quad \text{RF} \rightarrow \text{SiC}(\text{BH}_3)_2+ 4\text{H}_2(\text{g})$
 - (3) $2\text{SiH}_4 + 2\text{PH}_3 \text{ RF} \rightarrow 2\text{Si}(\text{PH}_2) + 5\text{H}_2(\text{g}) \quad [2]$
- 4 觸媒：無

2.2 太陽光電產業製程主要使用危害物質

多晶矽太陽能產業在製程中需使用大量的毒性液體、化學品及易燃性氣體，像前幾年太陽能電池製造廠發生矽甲烷火災，造成嚴重損失，因此太陽能產業中化學性危害更顯重要。危害包括：

- 1 在晶塊成長下，長晶爐必須維持高溫作業，會有爆炸火災等危害。
- 2 切割晶塊，會有操作機械上的割傷、感電、捲夾、撞擊等危害。
- 3 清洗使用的腐蝕性化學物質如：NaOH、KOH，有腐蝕、洩漏中毒等危害。
- 4 蝕刻使用NaOH/ IPA 溶液，IPA是易燃液體，在這部份容易發生火災爆炸還有腐蝕等危害可能。
- 5 擴散n-型磷使用之 POCl_3 去除 SiO_2 矽晶圓型或非晶系形太陽能電池使用氫氟酸(HF)，會有高溫、腐蝕、洩漏中毒等危害性。
- 6 電漿蝕刻使用 CF_4/O_2 ，氟碳化物通常為冷媒劑，因此這部份有凍傷、火災爆炸等危害。
- 7 抗反射層鍍膜使用矽甲烷(SiH_4)與氨(NH_3)，會有爆炸，腐蝕等危害性。九大危害分類屬第8類腐蝕性物質，與水會產生激烈反應，產生腐蝕有毒的易燃氣體；與醋酸、鋁、二甲亞砷、鉀、鈉、硝酸產生劇烈反應；受熱會形成磷酸、氫氟酸，故應亟遠離水、鹼和有機物。

薄膜太陽能製程包括導電玻璃鍍膜、化學氣相沉積薄膜製作、濺鍍ZnO、AgTi膜、Laser劃線、Substrate清洗、焊接封裝等步驟，使用化學物質包括有害氣體、金屬有機物及酸鹼液體等，大部份具有毒性、腐蝕性、易燃性、氧化性等化學特性，如(表1)所示。

2.3 太陽光電產業製程使用危害物質分類

高科技勞工使用化學物質，常同時具有火災爆炸之危險性及導致勞工健康危害之有害性。評估製程使用新興材料中危害物質，建立物種資訊，均需有更完整之風險評估資料，以納為勞工安全類法規。如「勞工安全衛生設施規則」，「高壓氣體危害預防標準」或納為勞工衛生類法規，如「有機溶劑中毒預防規則」，「勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準」，及「危險物與有害物標示及通識規則」。

本調查研究篩選原則，依聯合國危險貨物運輸九大類標示系統的九大類危害物質著手分類，將41個化學物質分類，依序分別出第二類氣體，第三類易燃液體，第四類易燃固體、自燃物質與禁水性物質。做為進一步風險評估的危害物質，篩選危害化學物質。〔3〕

表1 薄膜太陽能電池製造-製程主要使用危害物質 [3]

化學品		危害分類
(CH ₃) ₂ CHOH	異丙醇	3 易燃性液體
C ₂ H ₅ OH	乙醇	3 易燃
CH ₃ COCH ₃	丙酮	3 易燃
H ₂ O ₂	過氧化氫	5.1 氧化性、8 腐蝕性
NaOH	氫氧化鈉	8 腐蝕性
SiH ₄	矽甲烷	2.1 易燃
CH ₄	甲烷	2.1 易燃
B ₂ H ₆	二硼烷	2.1 易燃、2.3 毒性
PH ₃	磷化氫	2.1 易燃、2.3 毒性
N ₂	氮氣	2.2 非易燃、非毒性
C ₆ H ₁₄	正己烷	3 易燃
NH ₃	氨	6 毒性液體、8 腐蝕性
C ₆ H ₈ O ₇	無水檸檬酸	9 其它
H ₂	氫氣	2.1 易燃
SF ₆	六氟化硫	2.2 非易燃
He	氦氣	2.2 非易燃
NF ₃	三氟化氮	2.2 非易燃、5.1 氧化性
H ₂ SO ₄	硫酸	6 毒性液體、8 腐蝕性
(CH ₃) ₃ B	三甲基硼	4.2 自燃
(CH ₃ CH ₂) ₂ Zn	二乙基鋅	4.2 自燃

表2 薄膜太陽能電池製造-危害化學物質 [3]

危害分類	氣體/化學品
2.1 易燃氣體	SiH ₄ 、CH ₄ 、H ₂
2.1 易燃氣體、2.3 毒性氣體	B ₂ H ₆ 、PH ₃
2.2 非易燃性氣體	N ₂ 、SF ₆ 、He
2.2 非易燃氣體、5.1 氧化性物質	NF ₃
3 易燃性液體	C ₂ H ₅ OH、CH ₃ COCH ₃ 、C ₆ H ₁₄ 、(CH ₃) ₂ CHOH
4.2 自燃物質、4.3 禁水性物質	(CH ₃) ₃ B、(CH ₃ CH ₂) ₂ Zn
5.1 氧化性、8 腐蝕性	H ₂ O ₂
6.1 毒性物質、8 腐蝕性物質	NH ₃ 、H ₂ SO ₄
8 腐蝕性物質	NaOH
9 其它	HOCH-CH ₂ OH

依危險貨物運輸九大類分類，如(表2) 以產業使用危害物質。

- 1 使用易燃氣體矽甲烷(SiH_4)做為薄膜製程之原物料。
- 2 乾蝕刻及反應腔清洗使用非易燃氣體的氟化物。
- 3 易燃液體大量使用在產業的微影製程。
- 4 第四類自燃性物質與禁水性物質的有機金屬化合物，多使用在 MOCVD 及磊晶製程。
- 5 氧化性物質使用於清洗基材，如晶圓及素玻璃。
- 6 有毒物與腐蝕性物質被大量使用於濕蝕刻及擴散製程。

2.4 二乙基鋅(Diethyl Zinc，簡稱 DEZn) 危害分析與預防策略

二乙基鋅目前被使用在光電產業薄膜太陽能的使用材料之需求，其主要用途是在化學氣相沉積製程中 TCO Process MOCVD 所使用的物料，二乙基鋅(Diethyl Zinc；簡稱 DEZn)，依相關的調查研究顯示屬於金屬有機化合物具有發火性、禁水性等化學危害性。

- 1 特性風險，高度易燃，與水會激烈反應，在空氣中(氧氣)易自燃，形成 ZnO 粉末，皮膚受到接觸後會造成灼傷，經吸入長期接觸有嚴重損害健康的危險，對水生生物有極高毒性，可能在水生環境中造成長期不利影響，可能有損傷生育力的危險，吞食可能造成肺部損害。
- 2 毒性資料，DEZn 氧化鋅粉末的過程會造有毒物質，其徵候有喉嚨感到刺激與乾燥，咳嗽，胸腔疼痛、呼吸困難，關節與肌肉疼痛，發燒，疲倦及大量流汗。因血液中的蛋白質改變，導致體溫過低等現象。
- 3 二乙基鋅在空氣中遇氧氣自燃，生成 ZnO 粉末、 CO_2 和 H_2O 。
- 4 二乙基鋅與水發生劇烈反應，生成 ZnO 粉末和 C_2H_6 氣體。其中 ZnO 粉末容易造成輸送設備和管道的堵塞。
- 5 二乙基鋅化學穩定性很低，在 70°C 以上即開始分解，高於 120°C 時分解產物包括 Zn、 C_2H_6 、 C_2H_4 和 H_2 等，過熱會導致容器的爆炸。因此，必須從系統工程設計、操作維護和緊急事故及應變處理等方面採取相應措施，降低危害風險，預防事故發生。

2.5 二乙基鋅(Diethyl Zinc)危害特性分析

綜合各家廠商所提供 DEZn 物質安全資料表及相關研究報告記載此物質為一無色的溶液、無色的氣味；溶於水中反應激烈；密度 1.198g/ml @ $(86^\circ\text{F})30^\circ\text{C}$ ；沸點： $(224^\circ\text{F})118^\circ\text{C}$ (依濃度不同， 1atm)；蒸氣壓： $\log_{10}P$ (mmHg) = $8.280-2190/T(\text{K})$ ；氣體密度(at $(70^\circ\text{F}) 21^\circ\text{C}$ ， 1atm): 液體；凝固點： $(-18^\circ\text{F})-28^\circ\text{C}$ 。如(表3)與(表4) 所示。 [4]

表3 二乙基鋅(Diethyl Zinc) 物質特性

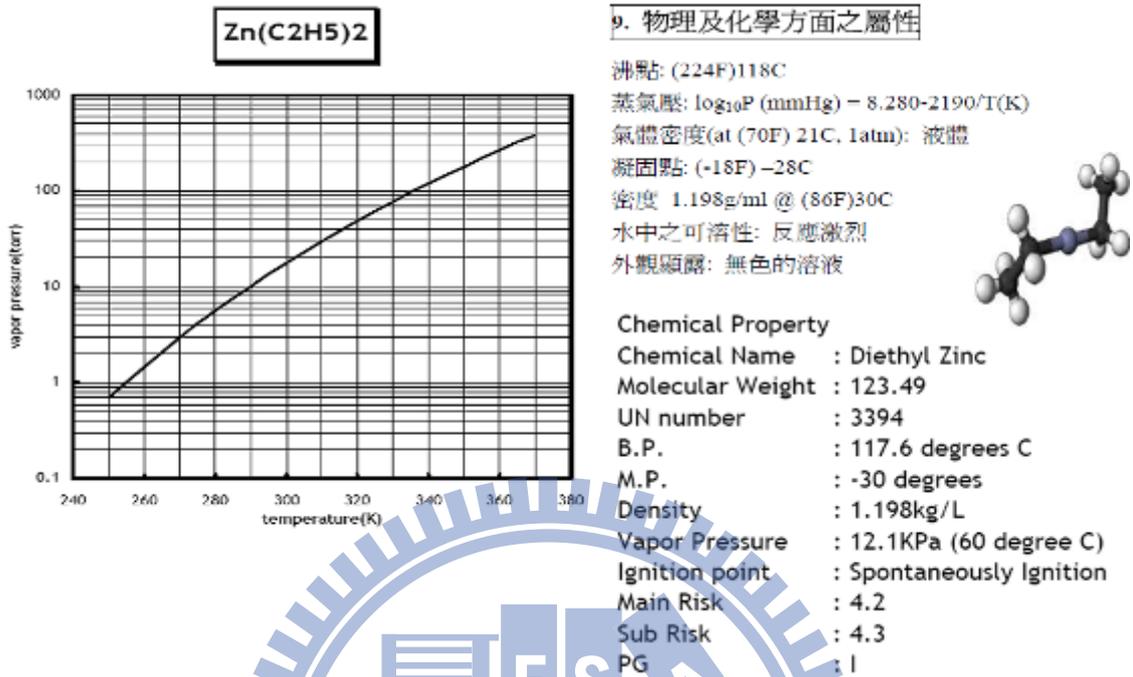
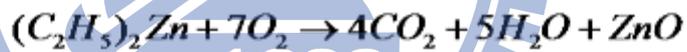


表4 二乙基鋅(Diethyl Zinc) 反應方程式 [3]



Chemical structure:



TEAL
DEAC
DEZ

Me = Al, Mg, Zn, Bo
R = CH₃, C₂H₅, etc
= Cl, I

	DIETHYLZINC	ALKYL ALUMINUMS
Appearance	Clear colorless liquid	Clear colorless liquids
Density	1198 kg/m ³ (30°C)	743-835 kg/m ³
Boiling point	DEZ: 116°C/1 atm.	TEAL 187°C/1 atm.
Viscosity	0.7 mPa's	Comparable with H ₂ O
Availability	As 100% or solution in hydrocarbon e.g. in Toluene / Hexane / THF	As 100% or solution in hydrocarbon e.g. in Isopentane / Hexane

二乙基鋅主要的危害辨識為發火溶液，在水中可減低其危險性。皮膚受到接觸後會造成灼傷。其氣體可引起鋅氣熱及體溫過低反應。

當曝露於二乙基鋅溶液及其副產品的情況下，必需要迅速至醫院檢查治療。緊急援救人員應使用適當保護設備或裝備(例如:個人獨立的呼吸裝置)，以防止受到傷害並且要察覺到二乙基鋅潛在，隨時可能發生火災及造成爆炸的情況。二乙基鋅的穩定性及活動性應避免與空氣接觸後容易發生起火之反應。對光敏感不可加熱，而二乙基鋅溶液在惰性大氣環境中貯儲時是十分穩定。

應避免的物質，避免水、空氣或其他氧化物危險的分解物質，鋅氧化物的殘餘粉末，氧及二氧化碳。二乙基鋅是一種有害物質，與某些化合物會有激烈反應，並能釋放大量的能量。火是主要的危險，並在某些特定條件下，可能發生爆炸。

二乙基鋅是發火性的，這意味著它會自發性點燃，如果它與空氣接觸(空氣中氧氣)。反應速度非常快，並釋放大量的熱量。該強度的熱本身就是一種危害。它可以點燃易燃材料，附近的建築物造成傷害或財產損失，及造成直接傷害。

反應的副產品，二氧化碳，水和氧化鋅，都很穩定。二乙基鋅大量洩漏或溢出可能構成重大火災。

二乙基鋅反應(乙烷氣)可以達到與空氣混合物爆炸。在一定條件下，在無排氣管容器，DEZn 反應也會造成壓力積聚，可能導致爆炸破裂的容器。

二乙基鋅也會與水產生激烈反應，反應的副產品是乙烷氣體和氧化鋅。如果 DEZn 液體和液態水接觸到的，發生的反應可能會非常旺盛，並很快釋放出大量的乙烷氣體。

二乙基鋅蒸汽和水蒸汽之間的反應不是那麼激烈，特別是二乙基鋅蒸汽和水的反應之間吸收發生在脫酸過程中。

二乙基鋅和水之間反應也釋放熱量，雖然這個熱量釋放約比二乙基鋅和空氣之間反應過程中的釋放量小 10 倍。

120°C 時二乙基鋅將開始分解，成氫氣，乙烷或其它碳氫化合物和鋅。在 1500°C，熱能再次釋放，並進行催化分解。這意味著，釋放的熱量會導致其進行自身催化分解和防止它被停止。自身催化分解液體二乙基鋅會導致氣體非常快速和無法控制被釋放。

監測和控制二乙基鋅氣體溫度，這個過程中變得非常重要，以防止二乙基鋅分解。

二乙基鋅和水之間的反應，會快速的釋放氣體和分解 DEZn，因此構成重大危險。如果出現在一個封閉環境，所產生的超壓的情況下，可能會導致破裂及起火。

因此工廠中的貯存容器，必須設計洩壓系統。爆炸是潛在的危險，因為根據一定條件下，乙烷和氫氣與空氣混合會導致爆炸。如(圖 7)所示。〔4〕

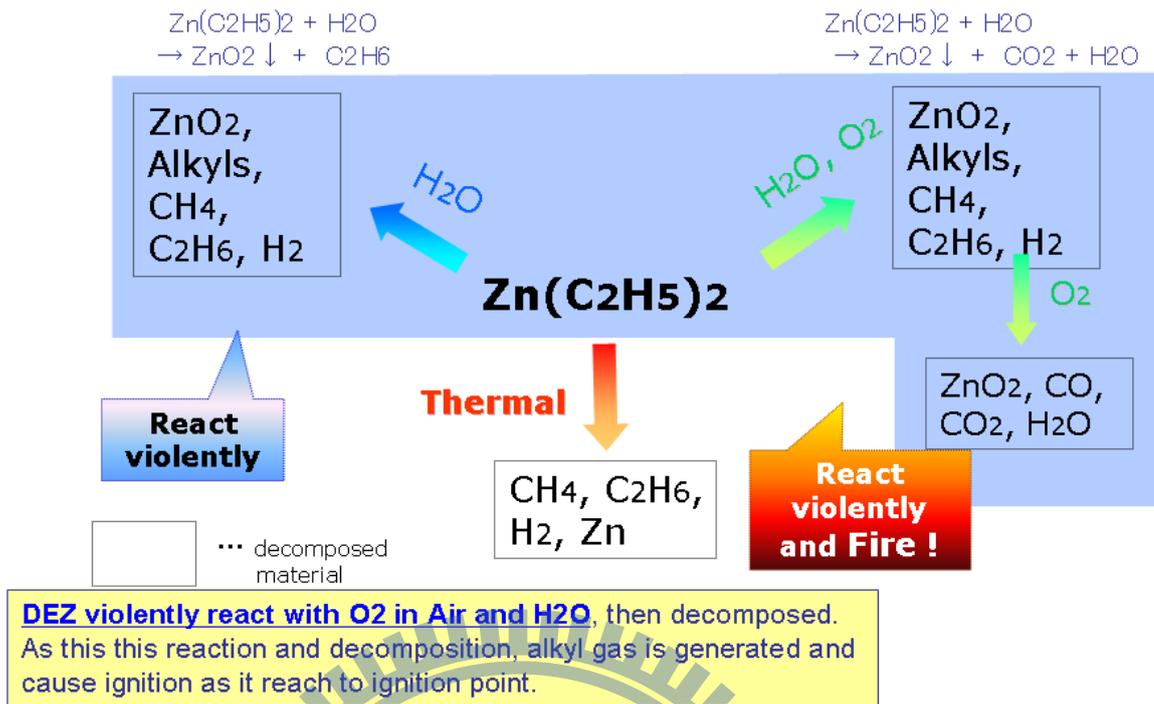


圖 7 二乙基鋅(Diethyl Zinc) 物質反應特性 [3]

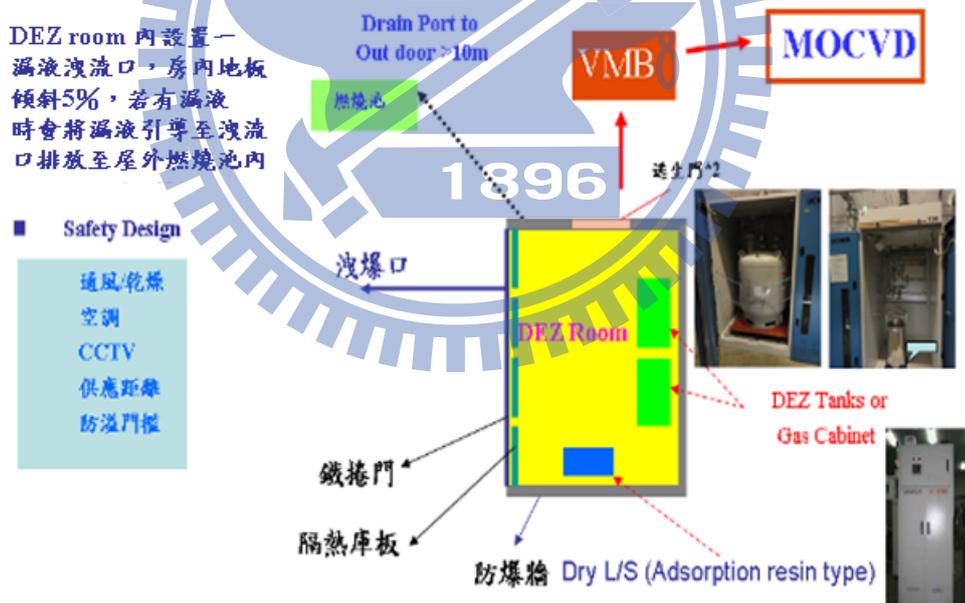


圖 8 二乙基鋅(Diethyl Zinc) Local supply Room Safety Design-1

2.6 二乙基鋅管理機制

化學品的管理一向是有關單位及各事業單位風險管理的重點，但往往缺乏細緻度，各單位都有物質安全資料表但很少有人質疑其正確性。由於二乙基鋅所蒐集到的物質安全資料表，對二乙基鋅與皮膚接觸的描述，從某化學品供應商的僅具有鹼性物質腐蝕及皮膚吸收，可能造成系統性危害的輕描淡寫。

某研究單位提供的資訊：

- 2.6.1 皮膚接觸到會造成嚴重的燒傷，而濃煙也會導致疼痛，此時必需立刻用大量的水沖洗受到傷害的範圍，如果衣服尚未黏著皮膚，需儘快將此部份的衣服除去。
- 2.6.2 眼睛接觸會造成灼傷，其氣體會造成眼睛疼痛。當處於二乙基鋅溶液可能暴露的環境中，不可配戴隱形眼鏡。若受到污染，必需用馬上用大量的清水沖洗眼睛至少 15 分鐘，並且要把眼皮睜開以確保完全受到清洗。
- 2.6.3 吸入會導致鋅氣熱，需將遭受污染之人員迅速安排至未污染的區域，並且使用個人呼吸裝置，假如有呼吸困難的情況發生，必需馬上給予氧氣，如果有停止呼吸的情況發生，要立刻給予人工呼吸急救，並立即尋找緊急的醫療支援，讓受傷人員保持溫暖與安靜。

毒性資料氧化鋅粉末的過程會造有毒物質，其徵兆有喉嚨感到刺激與乾燥，咳嗽、呼吸困難，關結與肌肉疼痛，發燒，疲倦及大量流汗。因為血液中的蛋白質改變，導致體溫過低等反應。

依據致癌物或可能性的致癌物，二乙基鋅並沒有被列 IARC、NTP 及 OSHA，此產品有列於 TSCA 的目錄中。如要搬運時，必需十分的確定鐵桶是安全而且緊閉的，以及鋼瓶上 Outlet 閥的塑膠封條是完好如初並且沒有及任何鬆動及破裂的情況發生，而鋼瓶上閥的出口導管確定依然保持狀。利用檢查的閥來防止任何產品倒流回機台設備中。〔3〕

在任何設備要使用三鉀基銻溶液時，在使用此一產品前，一定要確定在此系統中，已排除所有的空氣和水氣。貯存保護容器避免受到人為的破壞，並要注意到其溫度不可超過華氏 125 度或是攝氏 51 度，且貯存在遠離易燃物的地方。

當意外發生時牽制的方法，個人的防範措施，儘速撤離出此一區域及使用適當的保護設備。在嘗試的檢修設備前，以惰性氣體先清洗設備並且要確保充分的通風。如果有滲漏到恆溫槽中，要馬上撥打並緊急聯絡電話；環境的防範措施在安全的情況下，盡量的去牽制燃火不要擴散並且讓它遠離人員及設備。

滅火工具使用 D 類金屬火災乾性粉末滅火器。絕對不可以用水、泡沫或鹵性之混合物滅火，因牽涉到有機金屬化合物之特性。在確認無危險後，要斷絕此有機物體之外洩，在確認非常安全後，需將鋼瓶移開著火區。

暴露危險情況處於一個已被控制的火勢中，當任何已經沒有反應的二乙基鋅溶液再與空氣或水接觸到時，其火花會再度被重新點燃。滅火時的特殊保護裝備防火衣、個人獨立的呼吸裝置、防火面罩與安全護鏡及防火鞋與防火手套。

2.7 二乙基鋅供應系統風險評估

1. 二乙基鋅供應系統安全，供應管路採用 SS316L 材質及雙套管加保溫方式施作，供應前執行保壓測試和氦測漏。DEZn 鋼瓶和控制面板置於抽風的防爆櫃內。櫃內設置高溫探測器和火焰偵測器，可及時發出火警訊號，並切斷 DEZn 供應。排氣管路設置自動閥門，避免火災發生時火勢延著風管漫延，如(圖 8)。
2. DEZn 供應方面，通過穩壓 N₂ or Ar 氣體，把鋼瓶中的 DEZn 平穩輸送到使用設備。壓力表可隨時監控輸送系統壓力。電子秤監控鋼瓶重量，確保 DEZn 的連續供應，設備採用氣動閥，以 PLC 全自動操作。
3. 操作安全方面，系統管路採用 SS316L 材質，並經電解拋光處理。考慮 ZnO 堵塞問題，操作現場應配備合適的個人防護裝備(PPE)及緊急應變器材，並標示逃生路線。DEZn 操作需要訓練並遵循標準操作規定 (S O P)，確認執行中的每一個步驟。
4. DEZn room 需設兩個人員進出口以及一個進料口，內部溫濕度要求為溫度 18~30℃及濕度 80%以下，溫度要求主要為 PLC 系統與 DEZn 管路，DEZn 管路需控制溫差，防止 DEZn 在管路膨脹造成閥件損壞，如(圖 9) 所示。
5. DEZn Room 內設置一漏液洩流口，房內地板傾斜 5 %，若有漏液時會將漏液引導至洩流口排放至屋外燃燒池內。
6. DEZn 遇水會產生劇烈反應以及在空氣中自燃，及時發現並切斷洩漏源是防止火災擴大的最根本的手段。而供應站的消防措施主要是隔絕 DEZn 與空氣接觸，常用的滅火劑有乾粉、蛭石、沙土、珍珠岩

等，禁止使用水、泡沫等滅火劑。

7. 其中蛭石是一種雲母系的變質岩，主成份包含鋁、鐵、鎂等矽酸鹽，是一種多孔性材料，表面孔洞會將 DEZn 吸附，蛭石是最佳的滅火材料，不會有再次燃燒的問題。〔5〕



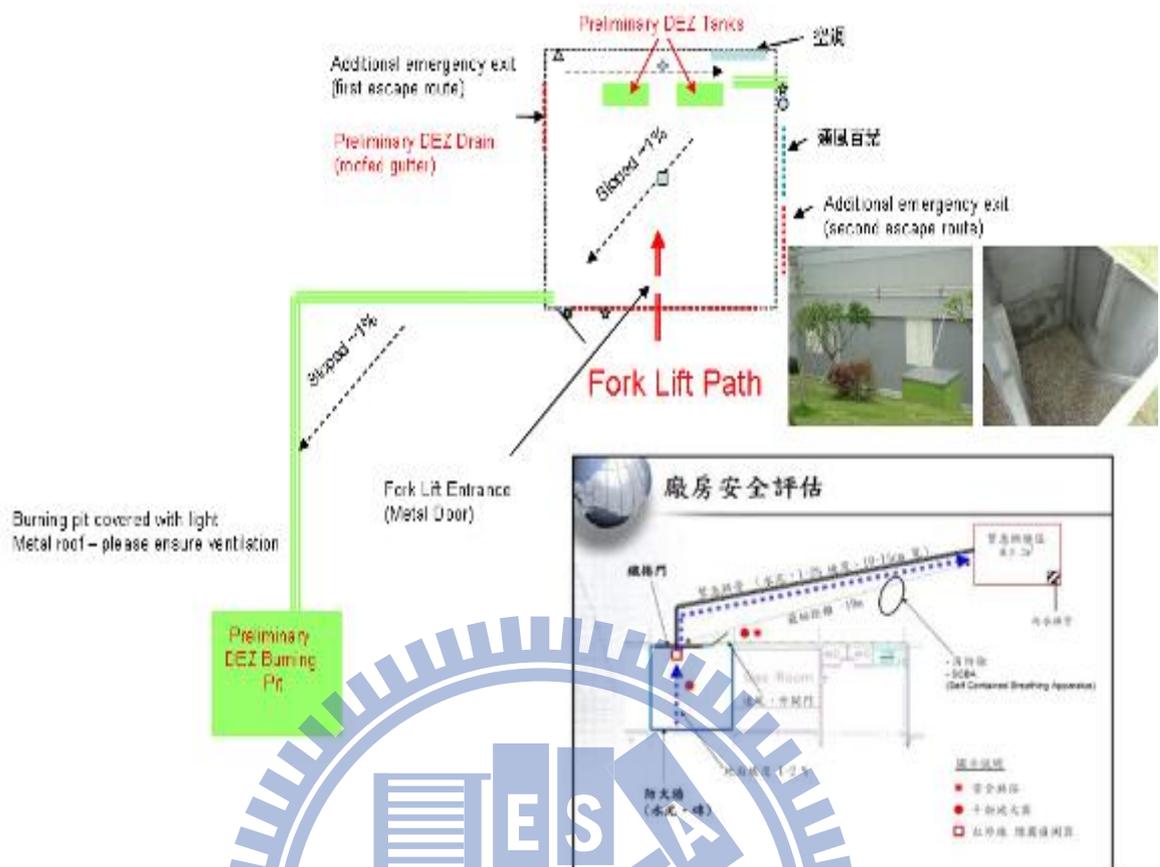


圖 9 二乙基鋅(Diethyl Zinc) Local supply Room Safety Design-2

2.8 二乙基鋅(Diethyl Zinc) 國、內外法規管理規範比較分析

蒐集與彙整國內法規、國際規範、標準等相關文獻，並進行二乙基鋅儲存及處理作業之相關規範之比較分析。

在執行製程危害分析時，參考相關標準或規範來檢視既有或應有的防護措施、設計是否適當是相當重要的環節。以現有的安全標準或規範很少是針對特定半導體及光電產業製程設備所設計與建造而制訂。

就目前半導體及光電產業、保險業者、消防工作者，以及相關領域研究者較常引用之安全參考標準或規範一般大致以SEMI、NFPA、FM為主，以下就國內外所參考之內容簡介如下：

2.8.1 國內主要法規/安全基準

1. 高壓氣體勞工安全衛生規則
2. 危險物及有害物通識規則
3. 勞工安全衛生設施規則
4. 有機溶劑中毒預防規則
5. 特定化學物質危害預防標準
6. 科學園區管理局廠務安全基準及查核建立
7. 中華民國消防法/各類場所消防安全設備設置基準
8. 特殊材料氣體災害防止安全基準
9. 工業安全衛生標示設置準則

2.8.2 國外參考標準或規範

10. 半導體製造設備協會

(Semiconductor Equipment Manufacturer Institute；簡稱SEMI) SEMI所設定的安全理念要是希望製程設備在其運轉及維護中所可能潛存的危害，於設計、建造、安裝階段時就被評估鑑認出來。那些被鑑認出的危害，即使無法清除，設備在發生單項元件失效或操作失誤時，亦不致使得操作人員、設備或社區直接暴露於危害中而造成人員傷害、死亡，或設備損失。所有設備必須配置有「失效也安全」(Fail-Safe)或故障容許度(Fault-Tolerant)之設計。

以SEMI整體架構一般較常被遵循引用之安全考量之內容。

2.8.3 彙整國內法規、SEMI/NFPA/FM 國際規範、標準等相關文獻，有關二乙基鋅(DEZn)與矽甲烷(SiH_4)儲存及處理作業之相關資訊，並進行二乙基鋅(DEZn)與矽甲烷(SiH_4)儲存及處理作業，相關規範之比較分析。彙整比較如(表5)所示〔6〕。矽甲烷(SiH_4)與二乙基鋅溶液(DEZn)物質安全資料比較表，如(附錄一)〔7〕

表 5 Diethyl Zinc 與 Silane 國、內外法規管理規範比較分析表

	Diethyl Zinc (DEZn)	Silane (SiH ₄)
規範名稱	內容摘要	內容摘要
勞工安全 衛生設施 規則〔8〕	1.第 10 條規則危險物，係指著火性物質（禁水性物質）經中央主管機關指定者。 2.第 154 條儲存大量物料之槽桶時，應確認無爆炸、中毒及缺氧等危險；佩掛安全帶及安全索等防護具；槽桶上方進入為原則。 3.第 159 條雇主對物料堆放應不得超過堆放地最大安全負荷；不得減少自動灑水器及火警警報器有效功用；不得妨礙消防器具之緊急使用。 4.第 168 條雇主對於工作場所消防安全設備之設置，應依消防法規有關規定辦理 5.第 184 條著火性物質，應遠離煙火、或有發火源之虞之物，並不得加熱、摩擦或衝擊或使其接觸促進氧化之物質或水。	1.第106 條不得任意灌裝或轉裝。 2.第108 條第8 款通路面積以確保存處面積20%以上為原則。 3.第185-1 條鋼瓶須有流率限制孔及儲存於室外安全處所之要求。
危險性工作場所 審查暨檢查辦法 〔9〕	要求危害性高之事業單位需製作製程安全評估報告書。	要求危害性高之事業單位需製作製程安評估報告書。
毒性化學物 質管理法	未對二乙基鋅直接排放到大氣中，對於環境汙染及人體健康影響之風險性及嚴重度有相關法規。	未對矽甲烷直接排放到大氣中，對於環境汙染及人體健康影響之風險性及嚴重度有相關規範。
消防法〔10〕	二乙基鋅劃歸為第三類公共危險物品，但未對於二乙基鋅作分類。	三氯矽甲烷為矽甲烷生產之原料，劃歸為第三類公共危險物品，但未對於矽甲烷做分類。
	1.第 3 條二乙基鋅為第三類公共危險物品，發火性液體、及禁水性物質，第 45 條禁水性物質不可與水接觸。 2.第 9 條製造、儲存或處理場所，其消防安全設備之設置，其他有關法令規定辦理。 3.第 19 條六類物品製造、儲存及處理場所應設置標示板及設置	關於防護牆建造設置時應依據的標準，但其防護標準在面對矽甲烷的爆炸威力仍有再研究的空間，例如該基準中提到的工法為依據建築技術規則所訂立，該規則對於構造設計和強度部分乃針對一般混凝土建築設計與建造所製作之準則，對於較嚴苛的防爆需

<p>公共危險物品及可燃性高壓氣體設置標準暨安全管理辦法 〔11〕</p>	<p>位置，由中央主管機關定之。</p> <p>4.第 20 條儲存六類物品達管制量以上者，依其性質設置儲存場所儲存。</p> <p>5.六類物品室內儲存場所除第 22 條至第 29 條規定外，其位置、構造及設備，符合既定規範。</p> <p>6.儲存六類物品之數量在管制量二十倍以下者，建築物之一部分得供作室內儲存場所使用，其位置、構造及設備除應符合第 21 條第 10 款至第 15 款規定。</p> <p>7.室內儲槽場所輸送液體六類物品之配管。</p> <p>8.已設置之製造、儲存或處理場所應自修正施行之日起六個月內，檢附場所之位置、構造、設備圖說；合法場所、逾期不改善，或改善仍未符附表五規定者，依本法第 42 條之規定處分。</p>	<p>求並無提出足以使人信賴的施工和驗收標準。</p>
<p>NFPA318 國際防火預防協會 (National Fire Protection Association) 〔12〕</p>	<p>未明訂</p>	<p>共9章33節，可歸納為6項重點：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.自動滅火及火警探測設備 2.空調、排煙及廢氣排放系統 3.建築結構與裝修 4.化學品之使用、運送與儲存 5.危險氣體之配送與儲存 6.生產設備及附屬設備之安全考量除了空調系統與排煙以及化學品管理的規定外，在危險性氣體之儲存與配送中有下列要求：在危險性氣體之儲存與配送中有下列要求： 第六章危害性氣體鋼瓶儲存&分佈區域(Hazardous Gas CylinderStorage &

		<p>Distribution)</p> <p>6-1 包裝(Packaging)</p> <p>6-2 運送到半導體的設施 (Transport to the Semiconductor Facility)</p> <p>6-3 分佈系統(Distribution Systems)</p> <p>6-4 矽甲烷和/無毒性混合儲存和分佈區域(Silane /Nontoxic Mixes Storage and Dispensing Areas)</p> <p>6-5 矽甲烷/毒性混合儲存和分佈區域(Silane/Toxic Mixes Storage and Dispensing Areas)</p> <p>6-6 易燃性或毒性氣體 (Flammable or Toxic Gases)</p> <p>6-7 排氣孔蓋(Vent Headers)</p>
<p>FM7-7 Factory Mutual Global Property Loss Prevention Data Sheets7-7 美國工廠聯合會損害防阻資料表 〔13〕</p>	<p>未明訂</p>	<p>針對矽甲烷配送系統之規定</p> <p>(一) 製程氣體配送系統之地點、建築結構及防護</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.主廠內、附加或附著建物內設損失限制建築。 2.製程氣體與室外變壓器、露天堆貨等保持適當距離或防火設施。 3.室內防火牆/防火門/防爆功能。 4.應設灑水器。 5.儲存區防爆電氣設備。 6.存量控制在最小允許量。 <p>(二) 矽甲烷配送系統</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.獨立之備用控制系統。 2.防護機械性損壞供應管。 3.常用/備用管線定期替換。 4.控制盤上下游設置切換閥 5. BIC 與VMB 間供氣管。 6.配送系統污染緊急處理程序 7.氣瓶櫃材質及迫驅配件等 8.易燃/自燃性氣瓶洒水器。 9.氣瓶櫃內連續內部排氣。 10.排氣速度(門關閉時)。
	<p>未明訂</p>	<p>涉及電氣、機械、防火、化學、</p>

<p>SEMI S2 (Semiconductor Equipment Manufacturer Institute) 半導體製造設備 協會健康及 安全基準</p>		<p>輻射、噪音和防震等安全領域。將化學品、輻射、電氣、物理性、機械、環境、地震及火災爆炸等危害與通風、人因工程應有之安全作為，原則性做一規範。其精神主要在設備使用者要將指引之要求納入採購規格，而設備供應商應提供風險分析和文件證明報告；在設備安全上之原則係採安全連鎖念，而設備操作與維護之安全，設備供應商應盡安全問題告知之責。〔6〕</p>
<p>SEMI S10 風險評估 及風險估 算過程之 安全指引</p>	<p>未明訂</p>	<p>本指引要建立風險評估一般進行原則，以鑑認設備危害的風險。該指引提供了一個架構進行風險評估，對半導體及同類行業設備，提供風險估算和風險評估方法，預期使用之供應商和購買者作為安全衛生防護設計的參考。使用這個安全指引，有助於對策的發展安排和控制風險。〔6〕</p>



圖 10 二乙基鋅(Diethyl Zinc)製程危害評估流程圖

第三章 研究方法及流程

3.1 製程風險危害研究流程

本研究是以二乙基鋅(Diethyl Zinc)製程供應系統之設備機台，執行細部製程安全評估，分析方法以勞委會認可之危害與可操作性分析(HazOp)為主。

製程安全評估階段由設備工程師、製程工程師、工安環保人員及廠務工程師等組成之評估小組參與，為讓評估過程明確鑑認危害並有效提出改善建議，評估人員於事前先行提供管線儀錶圖(P&ID)及 safety Interlock 清單相關資料，於評估時攜帶操作手冊及維修手冊進行討論。

本次二乙基鋅(Diethyl Zinc)製程供應系統供應端製程危害分析，針對二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應端製程危害分析，以作為製程安全最佳化設計之基礎，建立一套完善的製程安全管理系統。

本實施製程安全評估首先執行初步危害分析(Preliminary Hazard Analysis, PrHA)，所採用之方法為半導體機台相對危害等級分析法。

初步危害分析主要是針對具有使用危害性物質的設備機台執行評估，其中將機台相對危害等級為 4 或 5 者屬高度危害，將對其進行後續之細部製程安全評估，使用方法為危害與可操作性分析(Hazard and Operability Study, HazOp)。

使用常見的分析手法—初步危害分析(PrHA)以及危害與可操作性分析(HazOp)二乙基鋅製程與儲存危害分析，其分析方法如下。

3.1.1 製程危害評估分析

薄膜太陽能電池製造工廠之 DEZn 製程危害評估:

首先實施初步危害分析，再從分析結果辨識發掘出本廠危險性工作場所可能具有重大潛在危害的單元/機台。

進一步使用危害與可操作性分析(HazOp)之安全評估方法，針對單元/機台既有的管線儀錶圖(P&ID)，深入設備管線、儀控及作業現況執行評估，藉以辨識出造成重大潛在危害事件發生之基本原因。於分析過程，若評估預防基本原因發生或減低後果嚴重性的危害控制之防護措施不足，則提出可行之改善建議，改善建議屬安全管理制度者，納入相關安全衛生管理制度，並提出安全評估報告。如(圖 10) 所示 [14]

3.1.2 初步危害分析(Preliminary Hazard Analysis, PrHA)

執行初步危害分析時，將設計設備機台使用現況調查表，分為兩部份，各模組機台使用氣體/化學品盤查表。

機台危害特性及製程設計/機械設備資訊調查表，執行廠務、薄膜等模組初步危害分析，並完成各模組機台相對危害等級排序。

初步危害辨識包含製程初步危害分析及製程重大危害辨識，製程初步危害分析乃針對危害性物質的易燃性、毒性及反應性等本質危害(Inherent Hazard)及針對製程操作條件，如壓力、溫度、液位、組成異常或失控時之系統作用危害(Interact Hazard)進行辨識。

製程重大危害辨識為就製程中各操作單元的潛在危害加以分析，並辨識火災、爆炸、外洩等潛在事件的原因及後果。

以廠務安全衛生設施現場危害查核表(Check list)，作為初步危害分析。

二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統，危害與可操作性分析評估方法探討二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統製程中潛在危害，建立系統本質安全設計，藉此降低操作風險。以作為製程安全最佳化設計之基礎，提升人員作業的安全性、減少意外洩漏發生機率，建立一套完善的製程安全管理系統。

3.1.3 危害與可操作性分析(HazOp)分析: [14]

1961年由ICI化學公司所發展出來的評估方法，基本的進行模式是由幾個不同背景的專業人員以一種創造性、系統性的方式相互交換意見，並將所得到的結果整合起來，這種方式比起每個人獨自工作的方式可以辨識出較多的問題。儘管HazOp技術原來是設計用來評估新的設計或技術，但它亦可應用於工廠規劃和操作的任何階段。

HazOp研討集中於製程或操作的特定點上，稱為"研討節(study nodes)"、製程區段、或操作步驟。HazOp小組以一次一個方式檢驗每個區段或步驟，找出具有潛在危害的偏離(deviation)，這些偏離是由一組已建立的引導字(guidewords)所定義出，如(表6)。

每個引導字和相關的製程參數，如(表7)互組合，並應用至所檢

討之製程的每一研討節點、製程區段或操作步驟。使用引導字的主要目的是要確保所有與製程參數有關的偏離均被評估。

對於每一區段或步驟，小組有時會考慮相當多的偏離，並且辨識它們可能的原因和後果。儘管基本的 HazOp 分析已完善建立，但運用的方式可能隨著製程而改變。

利用引導字和製程參數所創造出來的偏離矩陣。如 (表 8) 所示。

HazOp 分析的流程如(圖 11) 所示，其評估研討過程須作有效且完整的記錄，可作為後續追蹤稽核的依據，因此，也是目前最被廣泛使用的製程安全評估方法。

對於現行防護措施可加以分類如(表 9) 所示，再依據風險等級，考量安全防護層是否充足，以作適當的改善建議。

3.1.4 危害與可操作性分析 (HazOp) 風險參數 [14]

可參酌美國聯邦緊急應變署 FEMA (Federal Emergency Management Agency) 所發展的風險矩陣，並依工業慣例加以修改。嚴重性等級 (severity) 從 1 到 4 之表示如(表 10)。頻率 (Frequency) 可能性定義從 A 到 E，如(表 11)所示。

依據嚴重等級及頻率可查(表 12) 風險矩陣表 (FEMA, MultiHazard)，得到一風險值。[15]

表 6 引導字 [14]

引導字	意義	備註
無 (no)	目的全無	無達到設計目的
較多 (more)	定量的增加	量的增加，例如流率或溫度
較少 (less)	定量的減少	量的減少，例如流率或溫度
不僅...又 (as well as)	定性的增加	達到所有設計及操作目的
只有部分 (part of)	定性的減少	只達到部份目的，另一部分則無
相反 (reverse)	邏輯相反	與設計目的相反，例如逆流或產品分解
除...之外 (other than)	完全替換	未達到原來的目的，而發生完全不同的事物

表 7 製程參數 [14]

特定	一般
遏制 Containment	重量 Weight
流量 Flow	震動 Vibration
溫度 Temperature	服務 / 公用 Services / Utilities
壓力 Pressure	腐蝕 / 侵蝕 Corrosion / Erosion
液位 Level (L)	人員安全 Personnel Safety
成份 Composition	環境 Environmental
相 Phase	啟動 Start-up
混合 Mixing	停車 Shutdown
反應 Reaction	維修 Maintenance
	操作程序 Operating Procedures
	廠址 Facility Siting
	人因 Human Factors
	工業衛生 Industrial Hygiene

表 8 偏移矩陣 [14]

引導字 偏離製程 參數	較多 more	較少 less	無 no	相反 reverse	只有部分 part of	不僅 ---又 as well as	除 ...之外 other than
流量	高流量	低流量	無流量	逆流	錯誤組成	雜質	錯誤物質
壓力	高壓	低壓	真空	NA	NA	NA	NA
溫度	高溫	低溫	NA	NA	NA	NA	NA
液位	高液位	低液位	無液位	NA	NA	NA	NA
反應	高反應	低反應	無反應	NA	NA	副反應	錯誤反應
時間動作	時間太長	時間太短	未執行	NA	NA	NA	NA
順序	動作太晚	動作太早	程序內容 有缺失	未依照順序 執行步驟	部分動作 未執行	執行額外 動作	執行錯誤 的 動作

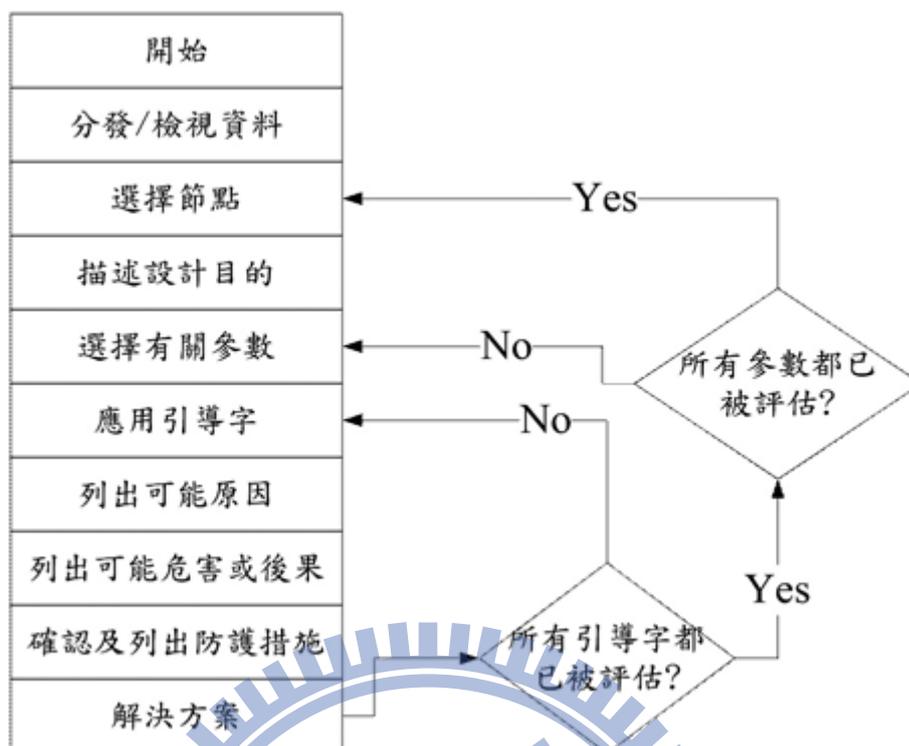


圖 11 HazOp 分析方法流程圖 [14]

表 9 防護措施種類 [14]

類型(Category)	說明	應用例
防護等級 3 (IL3)	關鍵安全保護	設計於保護有立即生命威脅事件。關鍵安全保護可採用設備、迴路、系統、程序或本質安全設計的形式發揮其功能
防護等級 2 (IL2)	安全保護	勞工安全與健康，預防重大的設備損壞、營運中斷、環保風險。
防護等級 1 (IL1)	系統完整性與製程控制	環境監測、設備監控、資訊/狀態與操作程序、停車預警

表 10 嚴重性等級 [14]

等級 1.	1.災難	2.嚴重	3.中度	4.輕微
人員	死亡或失能傷害	一人以上重傷	一人輕傷且可能損失工時	低或無傷害；無工時損失
社區	一人以上重傷	一人以上輕傷	公眾抱怨氣味或噪音	無傷害、危害或影響公眾
環境	重大外洩並嚴重影響到廠外及很可能有立即或長期的健康影響	嚴重外洩並影響到廠外	外洩導致政府告發或違反許可證	未經政府告發或違反許可證
工廠	製程區重大或全部毀損，預估成本損失在一百萬以上，或重大生產中斷	製程區嚴重損壞，預估成本損失在十萬元至一百萬以下，或部分生產中斷	部分設備損壞，預估成本損失在一萬元至十萬元以下，或有少部分生產中斷	輕微的設備損壞，預估成本損失在一萬元以下，且無生產中斷

表 11 可能性等級 [14]

頻率 (每年)	定義
A. 經常 $>10^{-1}$	過去 3 年曾在此工廠或類似的工廠發生，且預期未來 3 年可能發生
B. 間歇 10^{-1}	每 10 年至少發生一次
C. 偶而 $10^{-1} \sim 10^{-2}$	事故曾在此工廠或類似工廠發生，且預期未來 10 年內發生
D. 很少 $10^{-2} \sim 10^{-4}$	事故可能發生在類似的工廠或可能在未來 30 年內發生
E. 無可能 $<10^{-4}$	事故不可能在此工廠發生

表 12 風險矩陣表 [15]

表 2.3 風險矩陣(作為改善之優先順序) 風險評估矩陣		可 能 性				
		經常的 A	可能的 B	也許的 C	稀少的 D	極不可能的 E
嚴重性	重大的 1	1	1	2	3	4
	嚴重的 2	1	2	3	4	4
	中度的 3	2	3	4	4	5
	輕度的 4	3	4	4	5	5

風險評估等級大小

指標	重大 (1)	高度 (2)	中度 (3)	低度 (4)	輕度 (5)
					

第四章 案例分析討論與結果

4.1 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統，初步危害分析 (Preliminary Hazard Analysis, PrHA) 結果

以廠務 Diethyl Zinc System 安全衛生設施現場查核表(Check list)，作為初步危害分析。如 (附錄二)

1 廠務安全衛生設施現場查核結果

依據國內外相關法規與規則，進行現場特殊氣體供應系統、排氣系統、消防系統、局部廢氣處理設備、中央廢氣處理設備…等執行現勘，發現問題，並尋求解決之道。

- (1) 依據現勘查核結果，廠務 Diethyl Zinc System 安全衛生設施現場查核彙總表，如 (表 13)所示。
- (2) 依據統計符合項目共 86 項，部分符合 8 項，6 項結果不符合項目，如 (表 14) 所示。不適用則有 7 項，總共查核項目共 106 項。

表 13 廠務 Diethyl Zinc System 安全衛生設施現場查核彙總表

查核系統		Level 1 符合	Level 2 部分符合	Level 3 不符合	不適用	
二乙基鋅中央配送站氣體供應系統	特殊氣體	30	2	3	5	39
排氣系統		9	1	0	0	10
消防系統	撒水系統	14	2	0	0	16
	其他滅火系統	6	0	0	0	6
	火警系統	4	0	1	0	5
	被動式防火與煙控系統	8	0	1	0	9
局部廢氣處理設備		8	2	1	0	11
中央廢氣處理設備		7	1	0	2	10
總共		86	8	6	7	106

表 14 廠務 Diethyl Zinc System 安全衛生設施現場查核 結果不符合項目

項目	內容	現況說明與建議	備註
1	危害性氣體(Hazardous Gas)輸送氣體之管路、管線及接頭之材質要為不可燃結構(雙套管)，或是可燃結構但外加不可燃之外套，且具有洩露偵測功能。	■不符合 二乙基鋅輸送管線為雙套管不鏽鋼材質(SUS 316 L)，需在外管內敷設洩漏感知纜線	□不適用
2	自燃性、可燃性、腐蝕性及毒性物質之氣瓶櫃應設置氣體洩漏偵測器，啟動時應使鋼瓶停止供應及提供警報給緊急控制中心。	■不符合。僅在二乙基鋅中央配送站內發出警報，監控室無法即時得知以進行滅火，建議應將探測器的信號移報至 24 小時有人駐守之場所。	□不適用
3	自燃性物質氣瓶櫃應設置火焰(UV/IR)偵測器，偵測器啟動時應使鋼瓶停止供應及提供警報給緊急控制中心。	■不符合 同上所述	□不適用
4	排氣系統是否裝設防火風門。	■不符合 二乙基鋅(DEZ)中央配送空調風管未增設防火閘門	□不適用
5	二乙基鋅(DEZn)中央配送站內鋼瓶組(cylinder pack)必須要安裝經 FM 認證之火警探測器。	■不符合 未裝設使用 FM 認證之火警探測器。	□不適用
6	貫通防火區劃牆之空調風管應在風管內安裝認證合格的防火閘門。	■不符合 尚未按裝 UL 認證	□不適用

4.2 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統，危害與可操作性分析 (HazOp) 結果、討論

針對單元/機台既有的管線儀錶圖(P&ID)，深入設備管線、儀控及作業現況執行評估。

二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統是以惰性氣體 (N₂ 或 Ar) 將 DEZn 從 Tank Push gas 至 TCO 設備 gas box，以加熱方式汽化後再輸送至機台(供應至 gas box 壓力需要介於 0.5~1bar)。

DEZn Supply system 將 DEZn 從 420 kg tank 送至 40Kg 的 buffer 中，此設計確保供應不間斷且壓力穩定。如(圖 12)所示。

- 1 系統監控 P1，當壓力高於 1.5bar 時，C/R Vent 會開啟 Push gas 會關閉，當壓力回到 1bar 時 vent 會關閉，push gas 會再開啟。
- 2 Push gas 會依 P1 自動調整壓力，使壓力固定在 1.5bar 最大壓力設定在 3bar。
- 3 P3 監控雙套管壓力，若壓力異常表示輸送管路有洩漏系統異常時 C/R Vent 會關閉，若壓力異常偏高 vent 會開啟。
- 4 系統監控 P4，當壓力高於 3.5bar 時，LDS Vent 會開啟，Push gas 會關閉，當壓力回到 3.0bar 時 LDS Vent 會關閉，Push gas 會再開啟。
- 5 DEZn tank 的緊急洩壓閥為 6.5 bar，設定 N2 Push gas 最大壓力 5bar。
- 6 更換 DEZn tank，V2 always open、V3 off，防止管路 DEZn 凝結。

4.3 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統，危害與可操作性分析節點描述

危害與可操作性分析(HazOp)系統需先劃定分析的節點(Node)，以(圖 23) 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統流程管線儀錶圖 (P&ID)，依製程特性區分，作逐管線危害研討，各節點之描述，如(表 15)所示。

4.4 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第一階段 Push gas、Local scrubber 系統流程圖

如(圖 13) 及第一階段 Push gas、Local scrubber 系統 HazOp 危害與可操作性分析工作表，如 (表 16)所示。

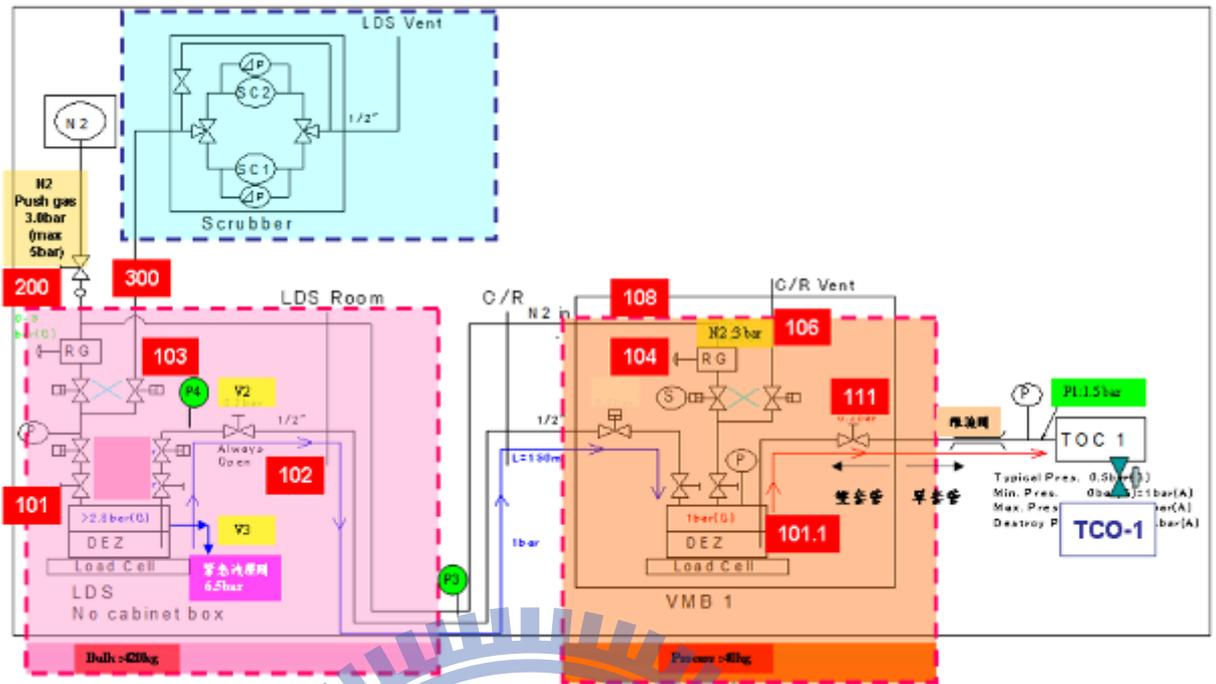


圖 12 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統流程圖

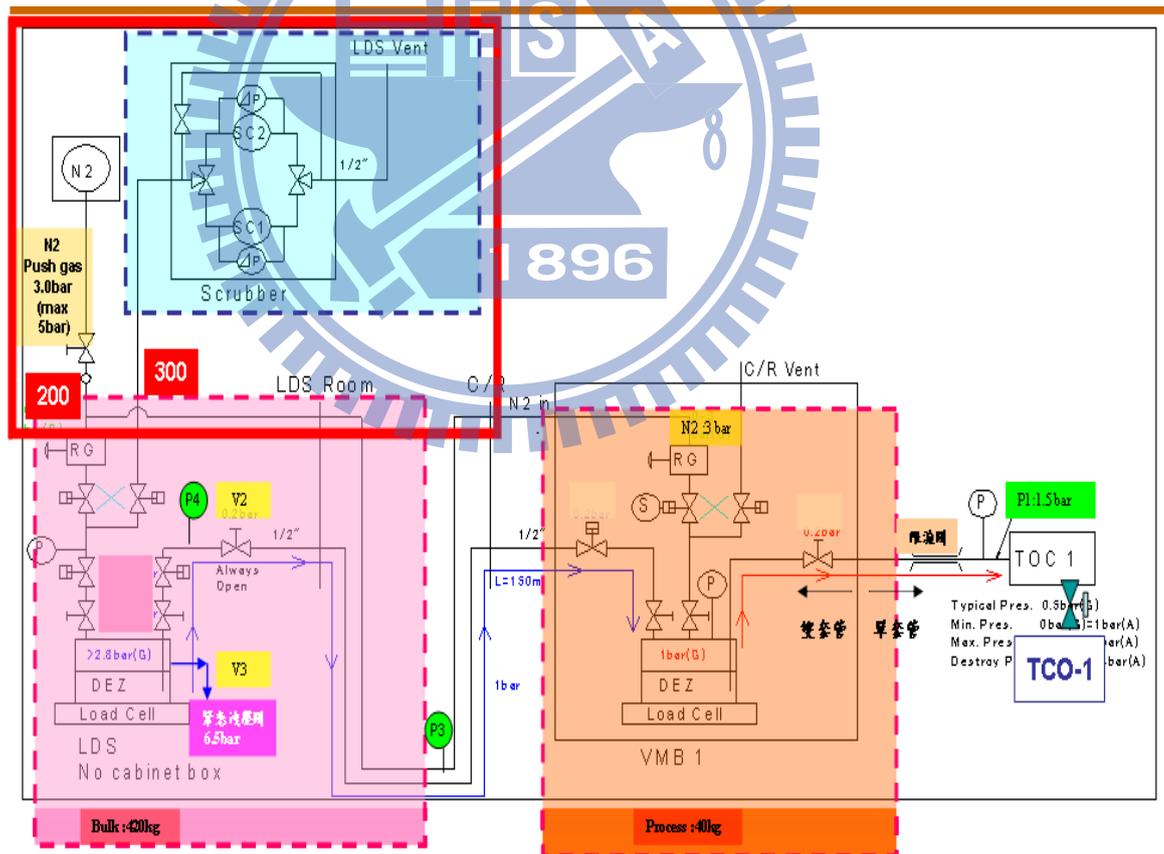


圖 13 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第一階段
Push gas、Local scrubber system 系統流程圖

表 15 危害與可操作性分析 (HazOp) 節點描述總表

項次	節點	製程/操作程序名稱	研討節點描述	管線/設備編號	設計目的
1	200	DEZn 製程供應系統	N2/Ar 惰性氣體鋼瓶本體	N2/Ar purge 管線本體, Vent 管線	N2/Ar 惰性氣體, 高壓輸送二乙基鋅 (Diethyl Zinc) 將 BSGS DEZ Tank, Push gas 至 Process DEZn Tank
2	201	DEZn 製程供應系統	Local Scrubber purge 管線	Local Scrubber purge 管線	Purge 液態二乙基鋅 (Diethyl Zinc), 避免排出大氣
3	300	DEZn 製程供應系統	DEZn (BSGS DEZn Tank) 製程管線 Vent 管線	N2/Ar purge 管線本體壓力錶 活塞式減壓閥	採 DEZn BSGS Cylinder 420Kg 供應方式, 壓力 6.5bar, 輸送 DEZn。DEZn 製程管線壓力錶, 讀取管內壓力。DEZn 製程管線手動調節減壓。
4	101	DEZn 製程供應系統	DEZn (BSGS DEZn Tank) 製程管線 High pressure supply 管線	DEZn 儲槽 (槽體安全承載係數 6.5bar)	採 DEZn BSGS Cylinder 420Kg 供應方式, 壓力 6.5bar, 輸送 DEZ。
5	102	DEZn 製程供應系統	DEZn (BSGS DEZn Tank) 液體供應管線從槽體出口, 經調壓閥過流量保護	High pressure supply 管線	DEZn BSGS Tank, Push gas 至 Process DEZn Tank 之 High pressure supply pipe。
6	103	DEZn 製程供應系統	DEZn (BSGS DEZn Tank) 從高壓氣體來源至排放閥, 經調壓閥過流量保護至 L/S low pressure purge, Vent 管線	Low pressure purge 管線	進行 DEZn BSGS Cylinder 更換前、後之 Low pressure purge。
7	101.1	DEZn 製程供應系統	DEZn (Process DEZn Tank) 製程管線之 Vent 管線	N2/Ar purge 管線本體 DEZn 槽體 (槽體安全承載係數 1bar)	採 Process DEZn Buffer Tank 40Kg 供應方式, 壓力 1 bar, 輸送 DEZ。
8	104	DEZn 製程供應系統	DEZn (Process DEZn Tank) 製程管線之惰性氣體增壓迴路	N2/Ar 增壓迴路, 輸送管線至 DEZn 槽體中	N2/Ar 惰性氣體, 高壓輸送二乙基鋅 (Diethyl Zinc) 將 BSGS DEZn Tank, Push gas 至 Process DEZn Tank
9	106	DEZn 製程供應系統	DEZn (BSGS DEZn Tank) 之 low pressure purge, Vent 管線	low pressure purge 管線	壓力異常, 表示輸送管線有洩漏; 系統異常時 C/R Vent 會關閉, 若壓力異常偏高, Vent 會開啟。
10	108	DEZn 製程供應系統	DEZn (Process DEZn Tank) 製程管線之惰性氣體節約迴路	節約迴路, 惰性氣體管線排放至大氣中	N2/Ar 惰性氣體, 供應端壓力預防控制
11	111	DEZn 製程供應系統	DEZn (Process DEZn Tank) 製程管線之供應 TCO 設備 gas box 管線	管線輸送至 DEZn (Process DEZn Tank), 然後再供應至設備端 TCO 薄膜機台側	將 DEZn 從 Process DEZn Tank, Push gas 至 TCO 設備 gas box, 以加熱方式汽化後, DEZn 由液態轉為氣態輸送至機台 (供應至 gas box 壓力需介於 0.5~1bar)。

表 16 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第一階段 Push gas、
Local scrubber 系統 HazOp 危害與可操作性分析工作表

表 16.1 危害與可操作性分析工作表 (1-1)

製程/操作程序名稱：DEZn製程供應系統 節點描述：N2/Ar 惰性氣體鋼瓶本體 管線/設備編號：200 設計目的：N2/Ar 惰性氣體，高壓輸送二乙基鋅(Diethyl Zinc)將BSGS DEZn Tank，Push gas至Process DEZn Tank									
項次	項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
1	200.1 200.3	高壓 高溫	1.外部火災 (含隔壁鋼瓶外 洩、動火不當、 電器火災)。 2.地震	1.外洩。	1.固定鍊條。 2.攻平有固定機座 3.緊急關斷閘。(氣瓶櫃上方、氣瓶 室門外及廠務中控室遠端控制)。 4.WIR偵測器連鎖關斷氣源 5.一面開放空間。 6.洩漏偵測器(環境及閥箱) 7.火警偵煙警報器。 8.防爆型電氣設備(class1)。	1	D	3	1.緊急應變演練。 2.定期測試安全裝置(洩漏 偵測器、WIR偵測連鎖關 斷氣源、火警偵煙警報 器)。 3.個人防護具。(防護面罩 及防火衣、手套)。
2	200.2 200.4	來源低壓	無安全顧慮發現	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	200.5	洩漏	1.來源鋼瓶接頭 材質不良。 2.搬運不當。 3.來源接頭密封 不良。 4.地震。	外洩	1.固定鍊條。 2.攻平有固定機座 3.緊急關斷閘。(氣瓶櫃上方、氣瓶 室門外及廠務中控室遠端控制)。 4.WIR偵測器連鎖關斷氣源 5.一面開放空間。 6.洩漏偵測器(環境及閥箱) 7.火警偵煙警報器。 8.防爆型電氣設備(class1)。 9.人員作業(上線)前訓練。 10.自動檢查(測試電氣設備、消防 設備、安全設備...等)。 12.限流孔。 13.作業SOP(雙人作業)。 14.緊急應變計劃	4	A	3	1.緊急應變演練。 2.定期測試安全裝置(洩漏 偵測器、WIR偵測連鎖關 斷氣源、火警偵煙警報 器)。 3.個人防護具。(防護面罩 及防火衣、手套)。

表 16.2 危害與可操作分析工作表(2-1)

製程/操作程序名稱：DEZn製程供應系統 研討節點描述：DEZn製程管線 管線/設備編號：300 設計目的：輸送DEZn									
項次	項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
4	300.1	高壓	1.調壓閥損壞。 2.上游壓力計異常。	外洩導致火災。	1.過壓警報連鎖關斷供應液體 2.連鎖關斷供應。 3.每日巡檢。 4.火警偵煙系統。 (請勿設置自動灑水系統)	1	D	3	1.定期測試安全裝置(緊報連鎖關斷供應)。 2.定期檢查壓力控制器
5	300.2	低壓	1.N2內容物不足。 2.管線破裂造成N2外洩。	A：產品損失。 B：DEZn逆流。	設置緊急關斷閥。	2	E	4	1.定期測試安全裝置(洩漏緊報連鎖關斷供應)。 2.定期檢查壓力控制器。
6	300.3	破裂	1.管線老舊。 2.壓力過高。	A：產品損失。 B：DEZn逆流。 C：外洩導致火災	設置緊急關斷閥。	2	C	3	1.定期檢查管線。 2.定期測試安全裝置(洩漏緊報連鎖關斷供應) 3.定期檢查壓力控制器
7	300.4	洩漏	1.壓力過高。 2.管線破裂。	A：產品損失。 B：DEZn逆流。 C：外洩導致火災	設置緊急關斷閥。	2	C	3	1.定期檢查管線。 2.定期測試安全裝置(洩漏緊報連鎖關斷供應) 3.定期檢查壓力控制器
8	300.5 300.6	錯誤物質 流動方向錯誤	無具體原因之發現。	無危害之顧慮。	NA	NA	NA	NA	NA

表 16.3 危害與可操作分析工作表(3-1)

製程/操作程序名稱：DEZn製程供應系統 研討節點描述：DEZn製程管線壓力錶，讀取管內壓力。 管線/設備編號：301 設計目的：讀取管內壓力									
項次	項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
9	301.1	高壓	1.Push gas 供應壓力過高。	1.造成管線破裂。 2.破裂洩漏導致火災。	1.過壓警報連鎖關斷供應液體 2.連鎖關斷供應。 3.每日巡檢。 4.火警偵測器、監視器CCTV (請勿設置自動灑水系統)	1	B	1	1.定期測試安全裝置(緊報連鎖關斷供應)。 2.定期檢查壓力控制器
10	301.2	低壓	1.Push gas 供應壓力過低。	A：產品損失。 B：DEZn逆流。	設置緊急斷閘。	4	C	4	1.定期測試安全裝置(洩漏緊報連鎖關斷供應) 2.定期檢查壓力控制器
製程/操作程序名稱：DEZn製程供應系統 研討節點描述：活塞式減壓閥 管線/設備編號：302 設計目的：減壓至負載壓力									
項次	項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
11	302.1	高壓	1.活塞式減壓閥故障失效。	1.造成管線破裂。 2.管線破裂導致火災 3.無法及時控管管內壓力。	1.安裝高流量警報。 2.供應管路採用SS316L EP材質及雙套管加保溫(含洩漏偵測) 2.每日巡檢。	1	A	1	1.定期測試檢查活塞式減壓閥之正常運作。
12	302.2	低壓	1.活塞式減壓閥故障失效。 2.管線阻塞。	1.DEZn逆流。	1.安裝高流量警報。 2.每日巡檢。	2	B	2	1.定期測試檢查活塞式減壓閥之正常運作。
13	302.3	失效	1.活塞式減壓閥故障導致失效。	導致管內壓力過高或過低。	設置緊急斷閘。	1	C	2	1.定期測試安全裝置(洩漏緊報連鎖關斷供應)。 2.定期測試檢查活塞式減壓閥正常運作。

表 16.4 危害與可操作分析工作表(3-2)

製程/操作程序名稱：DEZn製程供應系統 研討節點描述：DEZn製程管線手動調節減壓。RG手動減壓閥 管線/設備編號：303 設計目的：手動調節減壓									
項次	項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
14	303.1	洩漏	1.關鍵安裝不當 2.墊片接合不良 3.維修不當。	外洩導致火災。	1.過壓警報連鎖關斷供應液體 2.連鎖關斷供應。 3.每日巡檢。 4.火警偵測器、監視器CCTV (請勿設置自動灑水系統)	1	B	1	1.定期測試安全裝置(緊報連鎖關斷供應)。 2.定期檢查RG手動減壓閥
15	303.2	高壓	RG手動減壓閥故障失效。	1.造成管線破裂。 2.管線破裂導致火災 3.無法及時控管管內壓力。	1.安裝高流量警報。 2.供應管路採用SS316L EP材質及雙套管加保溫(含洩漏偵測) 2.每日巡檢。	2	C	3	1.定期檢查RG手動減壓閥
16	303.3	低壓	1.RG手動減壓閥故障失效。	1.DEZn逆流。	1.安裝高流量警報。 2.每日巡檢。	2	D	4	1.定期檢查RG手動減壓閥之正常運作。

4.5 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第二階段 Local DEZn Supply :
系統流程圖:

如(圖 14) 及第二階段 Local DEZn Supply 系統 HazOp 危害與可操作性
分析工作表，如 (表 17)所示。

4.6 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第三階段 DEZn Process Supply :
系統流程圖:

如(圖 15) 及第三階段 DEZn Process Supply 系統 HazOp 危害與可操作性
分析工作表，如 (表 18)。

4.7 HazOp 危害與可操作性分析總表 - 製程安全評估結果:

危害與可操作性分析完成後，彙整評估結果如(表 19)。由於分析項目眾多，針對潛在危險性較高且風險等級高者，實施製程危害控制，以消弭或降低風險程度，並提出改善建議與改善之效益。



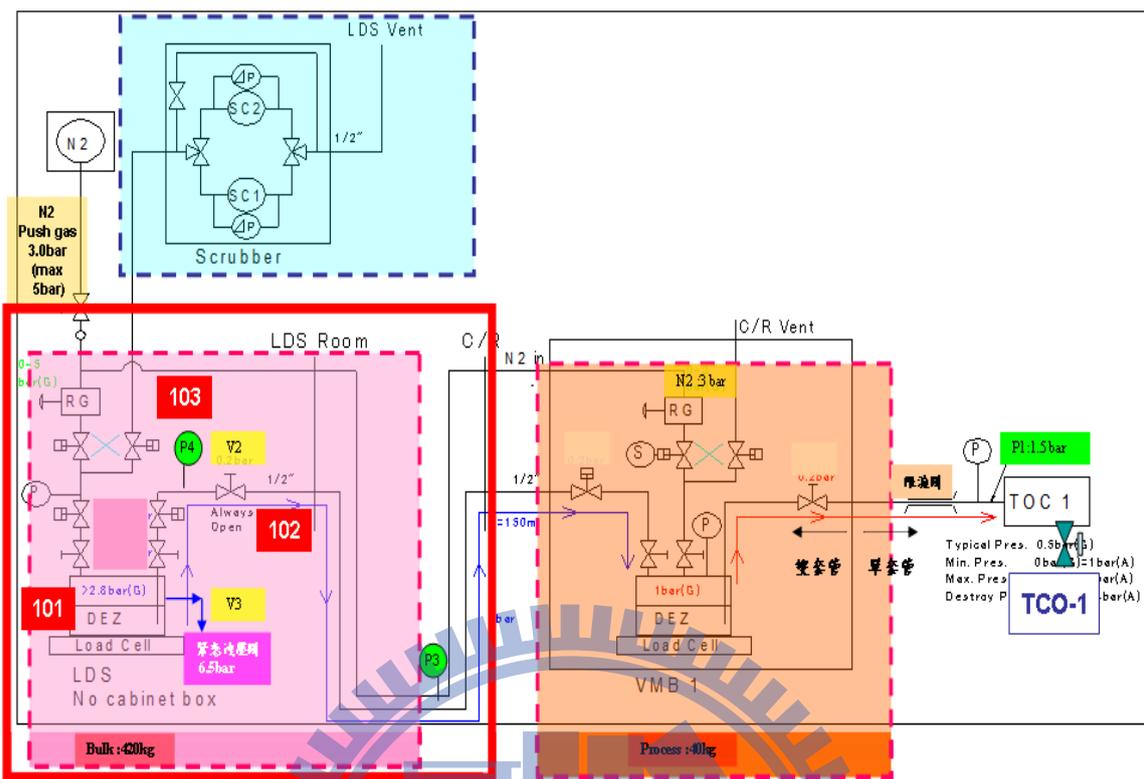


圖 14 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第二階段
Local DEZn Supply 系統流程圖

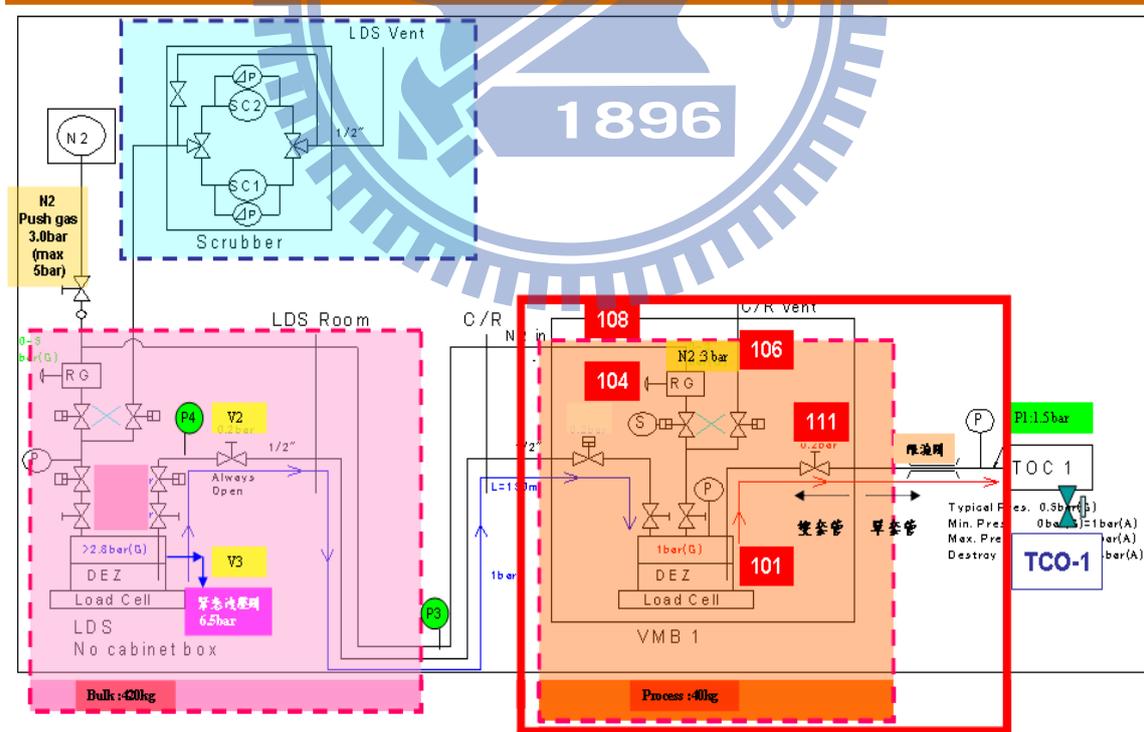


圖 15 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統之第三階段 DEZn Process Supply
系統流程圖

表 17 二乙基鋅 (Diethyl Zinc)供應系統之第二階段
Local DEZ Supply HazOp 危害與可操作性分析工作表
表 17.1 危害與可操作分析工作表(4-1)

製程/操作程序名稱: DEZn製程供應系統 研討節點描述: 101—DEZn儲槽(槽體安全承載係數6.5bar) 管線/設備編號:101 設計目的: 採DEZn BSGS Cylinder 420Kg 供應方式, 壓力6.5bar, 輸送DEZn。									
項次	項目	製程偏差	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
17	101.1	高壓	1.過量充填:來自外部壓力(氬氣壓力>5 bar)	內槽超壓	1.設有一組安全裝置緊急洩壓閥	1	D	3	1.改設雙安全裝置附三向閘開關可確保供貨。 2.增訂容器經安全裝置跳脫或釋放閘故障打開降壓後之復原步驟於 SOP
18	101.2	高溫	外部火災。	外洩火災、爆炸。	1.D類滅火器、膨脹蛭石。 2.氣瓶櫃內設置高溫探測器和火焰偵測器。 3.動火管制。 4.換裝儲槽SOP。 5.儲槽耐壓測試。	1	D	3	1.標示嚴禁煙火。 2.緊急應變計劃及演練(儲槽外洩情況。) 3.火警偵煙警報器,需移報至24hr中控室。
19	101.3	破裂	1.外部火災。 2.外力撞擊。 3.地震。	外洩火災、爆炸。	1.D類滅火器、膨脹蛭石。 2.氣瓶櫃內設置高溫探測器和火焰偵測器。 3.動火管制。 4.換裝儲槽SOP。 5.儲槽耐壓測試。 6.鋼瓶鏈條固定	1	E	4	1.標示嚴禁煙火。 2.緊急應變計劃及演練(儲槽外洩情況。)
20	101.4	洩漏	1.儲槽閘故障。 2.材質老化。 3.接頭鬆脫。 4.地震。 5.外力撞擊。 6.換裝不當。	外洩火災。	1.D類滅火器、膨脹蛭石。 2.DEZn氣瓶櫃,置放膨脹蛭石 3.換裝儲槽SOP。	1	D	3	1.緊急應變計劃及演練(儲槽外洩情況)。 2.DEZn儲存櫃內設置承漏盤,並將膨脹蛭石放置於承漏盤內。 3.DEZn入口門與鐵捲門應裝設防溢門檻。
21	101.5	錯誤組成	來源組成錯誤。	引發無預期化學反應	換裝儲槽SOP。	4	D	5	1.人員教育訓練。 2.定期工檢及自主管理。
22	101.6	雜質	1.過濾器損壞。 2.來源有雜質。	無具體危害之發現。	換裝儲槽SOP。	4	D	5	1.人員教育訓練。 2.定期工檢及自主管理

表 17.2 危害與可操作分析工作表(5-1)

製程/操作程序名稱: DEZn製程供應系統 研討節點描述: 102—液體供應管線從槽體出口經調壓閥過流量保護 管線/設備編號:102 設計目的: DEZn BSGS Tank , Push gas至Process DEZn Tank 之High pressure supply pipe。									
項次	項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
23	102.1	蒸氣凝結	1.供應室與戶外溫、溼度差異過大。 2.DEZn管路產生冷凝現象。	二乙基鋅與水發生劇烈反應,將生成ZnO粉末和C ₂ H ₆ 氣體。 ZnO粉末容易造成輸送設備和管線、閥件堵塞。	1.供應管路採用SS316L EP材質及雙套管加保溫(含洩漏偵測) 2. 管路設置壓力錶、流量計, 監測供應壓力與流量變化。 3.DEZn Room 穩定空調供應。	2	C	2	1.定期紀錄DEZn Room 溫、溼度並控制於溫度18~30°C, 溼度80%以內 2.定期紀錄DEZn供應壓力與流量。
24	102.2	高流量	1.調壓閥故障。 2.下游管線破裂 3.人員誤設定。	外洩燃燒 (下游管線洩漏處)。	1.供應管路採用SS316L EP材質及雙套管加保溫(含洩漏偵測) 2.過流量保護。 3.緊急遮斷閥(SHUT BOY)。 4.軟體設定。	3	B	3	1.定期檢查調壓閥。 2.人員教育訓練(異常狀況之原因)。
25	102.3 102.4	低流量	1.過濾器阻塞或調壓閥故障。 2.人員誤設定、誤關。	無具體危害之發現。	壓力偵測警報。	4	D	5	人員教育訓練(異常狀況之原因)。
26	102.5	高壓	1.調壓閥故障。 2.人員誤設定。	無具體危害之發現(管線之耐壓測試10 kg/cm ²)。	1.供應管路採用SS316L EP材質及雙套管加保溫(含洩漏偵測) 2.過壓警報連鎖關斷供應液體 3.緊急遮斷閥(Shut Boy)。 4.軟體設定。	4	D	5	1.改設雙安全裝置附三向閥開關可確保供貨。 2.增訂容釋經安全裝置跳脫或釋放閥故障打開降壓後之復原步驟於SOP。
27	102.6	低壓	1.過濾器阻塞或調壓閥故障。 2.人員誤設定、誤關。	無具體危害之發現。	壓力偵測警報。	4	D	5	人員教育訓練(異常狀況之原因)。
28	102.7	洩漏	1.人員踩踏。 2.材質老化。 3.地震。 4.施工不良。	外洩燃燒。	1.D類滅火器、膨脹銻石。 2.WIR警報 3.管路防踐踏措施。 4.動火管制。 5.換裝儲槽SOP。	2	D	4	1.緊急應變計劃及演練(外洩情況)。 2.定期檢查保壓測洩。 3.人員教育訓練(換裝儲槽SOP)。

表 17.3 危害與可操作分析工作表(6-1)

製程/操作程序名稱:DEZn製程供應系統 研討節點描述: 103—DEZn(BSGS DEZ Tank)從高壓氣體來源至排放閥，經調壓閥過流量保護至L/S low pressure purge，Vent管線。 管線/設備編號:103 設計目的: 進行DEZn BSGS Cylinder 更換前、後之Low pressure purge。									
項次	項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
29	103.1	高流量	1.閥故障或誤設定 2.氬氣來源過大。	無具體危害之發現(除害桶溫度升高)。	壓力偵測警報。	4	D	5	1.定期檢查調壓閥。 2.人員教育訓練(緊急應變處理流程)。
30	103.2	低流量	1.過濾器阻塞或調壓閥、氣動閥故障。 2.人員誤設定、誤關。 3.氬氣來源低。	無具體危害之發現。管線殘留DEZn。	壓力偵測警報。	4	E	5	人員教育訓練(緊急應變處理流程)。
31	103.3	無流量	1.過濾器阻塞或調壓閥、氣動閥故障。 2.人員誤設定、誤關。 3.氬氣來源中斷。 4.管、閥件阻塞。	無具體危害之發現。管線殘留DEZn。	壓力偵測警報。	4	D	5	人員教育訓練(緊急應變處理流程)。
32	103.4	高壓	1.調壓閥故障。 2.人員誤設定。	管線破裂，殘留DEZn外洩。	1.不銹鋼螺旋風管塗佈鐵氟龍 2.壓力偵測警報。 3.除害桶過壓警報。 4.Failure close設計	3	D	4	1.定期檢查限流閥。
33	103.5	低壓	1.過濾器阻塞或調壓閥故障。 2.人員誤設定、誤關 3.氬氣來源低。	流量過低，管線殘留DEZn。	壓力偵測警報	4	C	4	人員教育訓練(緊急應變處理流程)。
34	103.6	洩漏	1.人員踩踏。 2.換裝鋼瓶不確實 3.材質老化。 4.地震。 5.施工不良。	窒息。	1.氣體洩漏偵測器。 2.保壓測漏。 3.地震偵測連鎖關斷氣源(5級) 4.換裝鋼瓶SOP。	3	D	4	1.緊急應變計劃及演練 2.定期檢查(保壓測試、氣體洩漏偵測器。) 3.人員教育訓練(換裝鋼瓶及避免人員踩踏。)

表 18 二乙基鋅 (Diethyl Zinc)供應系統之第三階段
DEZ Pressure Supply HazOp 危害與可操作性分析工作表
表 18.1 危害與可操作分析工作表(7-1)

製程/操作程序名稱: DEZn製程供應系統 研討節點描述: Process DEZn Tank製程管線, DEZn槽體(槽體安全承載係數1bar) 管線/設備編號: 101 設計目的: 採Process DEZn Buffer Tank 40Kg 供應方式, 壓力1 bar, 輸送DEZn。									
項次	項目	製程偏差	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
35	101.1	高壓	1. 過量充填 2. 釋放閥故障	1. 內槽超壓 2. 槽體破裂	1. 設置安全裝置附三向閥關閉 2. 訂定勞工安全衛生工作守則並遵守SOP	2	D	4	1. 改設安全裝置附三向閥關閉可確保供貨。 2. 增訂容器經安全裝置跳脫或釋放閥故障打開降壓後之復原步驟於SOP
36	101.2	低壓	1. N ₂ /Ar 惰性氣體不足無法運送DEZn。	1. 造成DEZn無法正常運送到TCO。	1. 設置備用N ₂ /Ar 惰性氣體鋼瓶 2. 觀察N ₂ /Ar 惰性氣體使用量 3. 設置安全警報系統 4. 設壓差管控, 人員每天定期抄表巡檢	2	B	2	1. 設置N ₂ /Ar 惰性氣體壓力計
37	101.3	洩漏	1. 閥閘故障 2. 管線破裂 3. 過氧氣自燃	1. N ₂ /Ar 惰性氣體外洩 2. DEZn外洩 3. DEZn燃燒時需要通風環境, 如在密閉空間燃燒會有氣爆危險	1. D類滅火器、膨脹蛭石 2. 漏液引導溝、屋外燃燒池設置, 燃燒池需要通風並且保持乾燥。 3. 對於區域進行通風換氣。	2	C	3	1. 緊急應變計劃及演練(鋼瓶、槽體管線外洩應變流程) 2. DEZn Room內設置一漏液洩流口, 房內地板傾斜5%。 3. DEZn中央配送站空調風管與生產區風管增設「防火閘門」。
38	101.4	高溫	1. 外部火災	1. 內槽受熱超壓	1. 使用乾性粉沫, D類滅火器、膨脹蛭石滅火。 2. 提供個人防護裝備(特殊保護裝備防火衣、SCBA呼吸裝置、防火面罩與安全護鏡及防火鞋與防火手套)。	3	B	3	1. 緊急應變計劃及演練 2. 設備機台生產區設置自動灑水系統。 3. DEZn中央配送站內嚴禁設消防栓、自動灑水、泡沫系統。
39	101.5	流向錯誤	1. DEZn管線因氣體流向錯誤, 導致DEZn流到惰性氣體管線內。	1. 造成惰性氣體管線污染毀損 2. N ₂ /Ar 惰性氣體管線外洩 3. DEZn外洩。	1. 惰性氣體管線材質選擇 2. 定期檢查管線	2	C	3	1. 設置雙套管 2. 逆流監測系統
40	101.6	破裂	1. 外力撞擊	1. N ₂ /Ar惰性氣體外洩 2. DEZn外洩	1. 使用乾性粉沫, D類滅火器、膨脹蛭石滅火。 2. 定期訓練及承攬商管理辦法以避免人為造成之外力撞擊或閥件誤開。	2	D	4	1. 設置雙套管 2. 地震監測器 3. 供應系統、管線定期檢查。

表 18.2 危害與可操作分析工作表(8-1)

製程/操作程序名稱: DEZn製程供應系統 研討節點描述: DEZn(Process DEZn Tank)製程管線之惰性氣體增壓迴路 管線/設備編號: 104 設計目的: N ₂ /Ar增壓迴路，輸送管線至DEZn槽體中									
項次	項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
41	104.1	高壓	1. 過量充填 2. 釋放閥故障	1. 內槽超壓 2. 槽體破裂	1. 設雙安全裝置附三向閘開關 2. 訂定勞工安全衛生工作守則並遵守SOP。 3. 設有壓差壓力計，人員每天定期抄表巡檢。	2	C	3	1. 改設雙安全裝置附三向閘開關可確保供貨。 2. 增訂容器經安全裝置跳脫或釋放閥故障打開降壓後之復原步驟於SOP。
42	104.2	低壓	1. N ₂ /Ar 惰性氣體不足無法運送DEZn。	1. 造成DEZn無法正常運送到TCO。	1. 設置備用N ₂ /Ar 惰性氣體鋼瓶 2. 觀察N ₂ /Ar 惰性氣體使用量 3. 設置安全警報系統 4. 設壓差管控，人員每天定期抄表巡檢。	1	D	2	1. 設置N ₂ /Ar 惰性氣體壓力計。
43	104.3	錯誤組成	1. 人員輸送錯誤液體	1. 造成槽體、管線物質產生化學反應。	1. 設置電子秤監控鋼瓶重量，確保DEZn的連續供應，設備採用氣動閘，以PLC全自動操作。	3	C	4	1. 原物進料時需由雙人作業，並確認鋼瓶水壓、換裝SOP。
44	101.4	雜質	1. 管線有雜質	造成DEZn供應品質純度不足，間歇發生化學變化	1. 定期檢查管線並必要清潔或更換局部阻塞管路。 2. 設置管線壓力監控系統。	4	E	5	1. 特氣管線施工、驗收QC五大步驟與規範。

表 18.3 危害與可操作分析工作表(9-1)

製程/操作程序名稱:DEZn製程供應系統 研討節點描述:DEZn(BSGS DEZn Tank)之low pressure purge, Vent管線 管線/設備編號:106 設計目的:壓力異常,表示輸送管線有洩漏;系統異常時C/R Vent會關閉,若壓力異常偏高,Vent會開啟。									
項次	項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
45	106.1	高壓	1.過量充填 2.釋放閥故障	1.內槽超壓 2.槽體破裂	1.設雙安全裝置附三向閘關閉 2.訂定勞工安全衛生工作守則並遵守SOP。 3.設有壓差壓力計,人員每天定期抄表檢視	2	D	4	1.排氣通風確實清洗 2.確定場內通風良好 3.備用通風設置
46	106.2	洩漏	1.管線破裂 2.外力撞擊 3.閥件鬆脫	1.N ₂ /Ar 惰性氣體外洩	1.D類滅火器、膨脹蛭石	3	C	4	1.緊急應變計劃及演練(鋼瓶、槽體管線外洩應變流程)
製程/操作程序名稱:DEZn製程供應系統 研討節點描述:DEZn(Process DEZn Tank)製程管線之惰性氣體節約迴路 管線/設備編號:108 設計目的:N ₂ /Ar惰性氣體,供應端壓力預防控制									
項次	項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
47	108.1	高壓	1.過量充填 2.釋放閥故障	1.內槽超壓 2.槽體破裂	1.設雙安全裝置附三向閘關閉 2.訂定勞工安全衛生工作守則並遵守SOP。 3.設有壓差壓力計,人員每天定期抄表檢視	2	D	4	1.緊急應變計劃及演練 2.定期檢查(保壓測試、氣體洩漏偵測器) 3.人員教育訓練

表 18.4 危害與可操作分析工作表(10-1)

項次	項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
製程/操作程序名稱: DEZn製程供應系統 研討節點描述: DEZn(Process DEZn Tank)製程管線之供應TCO 設備gas box 管線 管線/設備編號: 111 設計目的: 將DEZn從Process DEZn Tank, Push gas 至TCO 設備gas box, 以加熱方式汽化後, DEZn 由液態轉為氣態輸送至機台 (供應至gas box壓力需介於0.5~1bar)。									
48	111.1	高壓	1. 壓力計異常 2. 減壓閥故障	1. 管線破裂 2. 有潛在人員傷害之危害	1. 設有壓差壓力計, 人員每天定期抄表檢視 2. 定期測試減壓閥	1	D	3	1. 緊急應變計劃及演練 2. 定期檢查(保壓測試、氣體洩漏偵測器) 3. 人員教育訓練
49	111.2	高溫	1. 外部火災	1. 管線破裂 2. 人員受傷	1. 供應管路採用SS316LEP材質及雙套管加保溫(含洩漏偵測)	1	D	3	1. 緊急應變計劃及演練 2. 設備機台生產區設置自動灑水系統。
50	111.3	高流量	1. 釋放閥故障 2. French破裂 3. 壓力過大管線破裂	1. DEZn洩漏 2. 供應過量	1. 管線設置流量計 2. 管線設置壓力監視裝置	1	D	3	1. French定期更換 2. 多點設置壓力計 3. 設置雙套管
51	111.4	管線破裂	1. 外部撞擊導致管線損壞 2. 生鏽腐蝕	1. DEZn外洩	1. 定期檢測管線 2. 提供適當的個人防護裝備	2	D	4	1. 設置雙套管 2. 管線定期保養更新 3. 培訓檢測人員
52	111.5	逆流	1. 控制閥故障	1. 管線、設備損壞 造成N ₂ /Ar 惰性氣體鏽蝕	1. 設有壓差壓力計, 人員每天定期抄表檢視 2. 管線設置流量計, 監測流向	2	D	4	1. 培訓檢測人員 2. N ₂ /Ar 惰性氣體管線定期檢修
53	111.6	雜質	1. 管線有雜質	造成DEZ供應品質純度不足, 間歇發生化學變化	1. 定期檢查管線並必要清潔或更換局部阻塞管路。 2. 設置管線壓力監控系統。	3	C	4	1. 特氣管線施工、驗收QC五大步驟與規範。

表 18.5 危害與可操作分析工作表(11-1)

製程/操作程序名稱：DEZn製程供應系統 研討節點描述：洗滌塔 管線/設備編號：201 設計目的：洗滌DEZn避免排出大氣									
項次	項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
54	201.1	破裂/洩漏	1.地震。 2.材質老化。 3.閥件接合不良。	洩漏造成火災及人員中毒。	1.飽壓試驗(150psig)。 2.自動檢查(目視管線、壓力錶、調壓閥)。 3.UV/IR Detector(閥箱)。 4.緊急應變計劃。 5.火警偵測警報系統。 6.D類滅火器。 7.氣體供應異常處理程序。 8.固定鏈條(鋼瓶有固定機座)。 9.洩漏偵測連鎖關斷氣源。 10.He測漏。 11.緊急遮斷按鈕(EMO)。 12.CCTV。 13.定期檢點。 14.人員作業(上線)前訓練。	1	D	3	1.緊急應變演練。 2.定期測試安全裝置(洩漏偵測連鎖關斷氣源)。 3.定期稽核保壓測試。 4.個人防護具(防護面罩及防火衣)。
55	201.2	高流量	無可能原因之發現。	NA	NA	NA	NA	NA	NA
56	201.3	低流量	1.來源氮氣(Vent-GN2)流量低。 2.閥(PGI)異常或阻塞	無安全顧慮之發現。	NA	NA	NA	NA	NA
57	201.4	高溫	無可能原因之發現。	NA	NA	NA	NA	NA	NA
58	201.5	低溫	無可能原因之發現。	NA	NA	NA	NA	NA	NA
59	201.6	高壓	1.鋼瓶閥內漏未關緊 2.N2調壓閥故障。 3.真空度異常。	無安全顧慮之發現。	NA	NA	NA	NA	NA
60	201.7	低壓	無可能原因之發現。	NA	NA	NA	NA	NA	NA
61	201.8	雜質	無可能原因之發現	NA	NA	NA	NA	NA	NA

表 19 HazOp 危害與可操作性分析總表

表 19.1 製程安全評估結果(12-1)

項目	製程偏差	可能原因	相關危害／後果	防護措施／補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
200.1 200.3	高壓 高溫	1.外部火災 (含隔壁鋼瓶外 洩、動火不當、 電器火災)。 2.地震	1.外洩。	1.固定鍊條。 2.攻平有固定機座 3.緊急關斷閥。(氣瓶櫃上方、氣瓶 室門外及廠務中控室遠端控制)。 4.WIR偵測器連鎖關斷氣源 5.一面開放空間。 6.洩漏偵測器(環境及閥箱) 7.火警偵煙警報器。 8.防爆型電氣設備(class1)。	1	D	3	1.緊急應變演練。 2.定期測試安全裝置(洩漏 偵測器、WIR偵測連鎖關 斷氣源、火警偵煙警報 器)。 3.個人防護具。(防護面罩 及防火衣、手套)。
300.1	高壓	1.調壓閥損壞。 2.上游壓力計異 常。	外洩導致火災。	1.過壓警報連鎖關斷供應液體 2.連鎖關斷供應。 3.每日巡檢。 4.火警偵煙系統。 (請勿設置自動澆水系統)	1	D	3	1.定期測試安全裝置 (緊報連鎖關斷供應)。 2.定期檢查壓力控制器
300.3	破裂	1.管線老舊。 2.壓力過高。	A: 產品損失。 B: DEZn逆流。 C: 外洩導致火災	設置緊急關斷閥。	2	C	3	1.定期檢查管線。 2.定期測試安全裝置(洩漏 緊報連鎖關斷供應) 3.定期檢查壓力控制器
300.4	洩漏	1.壓力過高。 2.管線破裂。	A: 產品損失。 B: DEZn逆流。 C: 外洩導致火災	設置緊急關斷閥。	2	C	3	1.定期檢查管線。 2.定期測試安全裝置(洩漏 緊報連鎖關斷供應) 3.定期檢查壓力控制器
301.1	高壓	1.管線壓力過大	1.造成管線破裂。 2.破裂洩漏導致火災	1.過壓警報連鎖關斷供應液體 2.連鎖關斷供應。 3.每日巡檢。 4.火警偵測器、監視器CCTV (請勿設置自動澆水系統)	1	B	1	1.定期測試安全裝置(緊報 連鎖關斷供應)。 2.定期檢查壓力控制器
302.1	高壓	1.活塞式減壓閥 故障失效。	1.造成管線破裂。2. 管線破裂火災 3. 無法及時控管管內壓 力。	1.安裝高流量警報。 2.供應管路採用SS316L EP材質及 雙套管加保溫(含洩漏偵測) 2.每日巡檢。	1	A	1	1.定期測試檢查活塞式減 壓閥之正常運作。
302.2	低壓	1.活塞式減壓閥 故障失效。 2.管線阻塞。	1.DEZn逆流。	1.安裝高流量警報。 2.每日巡檢。	2	B	2	1.定期測試檢查活塞式減 壓閥之正常運作。
302.3	失效	1.活塞式減壓閥 故障導致失效。	導致管內壓力過高或 過低。	設置緊急斷閥。	1	C	2	1.定期測試安全裝置 (洩漏緊報連鎖關斷供應) 2.定期測試檢查活塞式減

表 19.2 製程安全評估結果 (12-2)

項目	製程偏離	可能原因	相關危害／後果	防護措施／補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
303.1	洩漏	1.關鍵安裝不當 2.墊片接合不良 3.維修不當。	外洩導致火災。	1.過壓警報連鎖關斷供應液體 2.連鎖關斷供應。 3.每日巡檢。	1	B	1	1.定期測試安全裝置(警報連鎖關斷供應)。 2.定期檢查RG手動減壓閥
302.3	失效	1.活塞式減壓閥故障導致失效。	導致管內壓力過高或過低。	設置緊急斷閘。	1	C	2	1.定期測試安全裝置(洩漏警報連鎖關斷供應)。 2.定期測試檢查活塞式減壓閥正常運作。
303.2	高壓	RG手動減壓閥故障失效。	1.造成管線破裂。 2.管線破裂導致火災 3.無法及時控管管內壓力。	1.安裝高流量警報。 2.供應管路採用SS316LEP材質及雙套管加保溫(含洩漏偵測) 2.每日巡檢。	2	C	3	1.定期檢查RG手動減壓閥
101.1	高壓	1.過量充填：來自外部壓力(氮氣壓力>5 bar)	內槽超壓	1.設有一組安全裝置緊急洩壓閥	1	D	3	1.改設雙安全裝置附三向閥關斷可確保供貨。 2.增訂容器經安全裝置跳脫或釋放閥故障打開降壓後之復原步驟於SOP
101.2	高溫	外部火災。	外洩火災、爆炸。	1.D類滅火器、膨脹蛭石。 2.氣瓶櫃內設置高溫探測器和火焰偵測器。 3.動火管制。 4.換裝儲槽SOP。 5.儲槽耐壓測試。	1	D	3	1.標示嚴禁煙火。 2.緊急應變計劃及演練(儲槽外洩情況)。 3.火警偵煙警報器，需移報至24hr中控室。
101.4	洩漏	1.儲槽閥故障。 2.材質老化。 3.接頭鬆脫。 4.地震。 5.外力撞擊。 6.換裝不當。	外洩火災。	1.D類滅火器、膨脹蛭石。 2.DEZn氣瓶櫃，置放膨脹蛭石 3.換裝儲槽SOP。	1	D	3	1.緊急應變計劃及演練(儲槽外洩情況)。 2.DEZn儲存櫃內設置承漏盤，並將膨脹蛭石放置於承漏盤內。 3.DEZn入口門與鐵捲門應裝設防溢門檻。
102.1	蒸氣凝結	1.供應室與戶外溫、溼度差異過大。 2.DEZn管路產生冷凝現象。	二甲基鋅與水發生劇烈反應，將生成ZnO粉末和C ₂ H ₆ 氣體。ZnO粉末容易造成輸送設備和管線、閥件堵塞。	1.供應管路採用SS316LEP材質及雙套管加保溫(含洩漏偵測) 2.管路設置壓力錶、流量計，監測供應壓力與流量變化。3.DEZn Room 穩定空調供應。	2	C	2	1.定期紀錄DEZn Room 溫、溼度並控制於溫度18~30°C，溼度80%以內 2.定期紀錄DEZn供應壓力與流量。
102.2	高流量	1.調壓閥故障。 2.下游管線破裂 3.人員誤設定。	外洩燃燒(下游管線洩漏處)。	1.供應管路採用SS316LEP材質及雙套管加保溫(含洩漏偵測) 2.過流量保護。 3.緊急遮斷閘(SHUT BOY)。 4.PLC 軟體設定。	3	B	3	1.定期檢查調壓閥。 2.人員教育訓練(異常狀況之原因)。

表 19.3 製程安全評估結果 (12-3)

項目	製程偏離	可能原因	相關危害/後果	防護措施/補充說明	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議
303.1	洩漏	1.閥鍵安裝不當 2.墊片接合不良 3.維修不當。	外洩導致火災。	1.過壓警報連鎖關斷供應液體 2.連鎖關斷供應。 3.每日巡檢。	1	B	1	1.定期測試安全裝置(緊報連鎖關斷供應)。 2.定期檢查RG手動減壓閥
302.3	失效	1.活塞式減壓閥故障導致失效。	導致管內壓力過高或過低。	設置緊急斷閥。	1	C	2	1.定期測試安全裝置(洩漏緊報連鎖關斷供應)。 2.定期測試檢查活塞式減壓閥正常運作。
303.2	高壓	RG手動減壓閥故障失效。	1.造成管線破裂。 2.管線破裂導致火災 3.無法及時控管管內壓力。	1.安裝高流量警報。 2.供應管路採用SS316L EP材質及雙套管加保溫(含洩漏偵測) 2.每日巡檢。	2	C	3	1.定期檢查RG手動減壓閥
101.1	高壓	1.過量充填：來自外部壓力(氮氣壓力>5 bar)	內槽超壓	1.設有一組安全裝置緊急洩壓閥	1	D	3	1.改設雙安全裝置附三向閥閥關可確保供貨。 2.增訂容器經安全裝置跳脫或釋放閥故障打開降壓後之復原步驟於SOP
101.2	高溫	外部火災。	外洩火災、爆炸。	1.D類滅火器、膨脹蛭石。 2.氣瓶櫃內設置高溫探測器和火焰偵測器。 3.動火管制。 4.換裝儲槽SOP。 5.儲槽耐壓測試。	1	D	3	1.標示嚴禁煙火。 2.緊急應變計劃及演練(儲槽外洩情況)。 3.火警偵煙警報器，需移報至24hr中控室。
101.4	洩漏	1.儲槽閥故障。 2.材質老化。 3.接頭鬆脫。 4.地震。 5.外力撞擊。 6.換裝不當。	外洩火災。	1.D類滅火器、膨脹蛭石。 2.DEZn氣瓶櫃，置放膨脹蛭石 3.換裝儲槽SOP。	1	D	3	1.緊急應變計劃及演練(儲槽外洩情況)。 2.DEZn儲存櫃內設置承漏盤，並將膨脹蛭石放置於承漏盤內。 3.DEZn入口門與鐵捲門應裝設防溢門檻。
102.1	蒸氣凝結	1.供應室與戶外溫、溼度差異過大。 2.DEZn管路產生冷凝現象。	二乙基鋅與水發生劇烈反應，將生成ZnO粉末和C ₂ H ₆ 氣體。ZnO粉末容易造成輸送設備和管線、閥件堵塞。	1.供應管路採用SS316L EP材質及雙套管加保溫(含洩漏偵測) 2.管路設置壓力錶、流量計，監測供應壓力與流量變化。3.DEZn Room穩定空調供應。	2	C	2	1.定期紀錄DEZn Room溫、溼度並控制於溫度18~30°C，溼度80%以內 2.定期紀錄DEZn供應壓力與流量。
102.2	高流量	1.調壓閥故障。 2.下游管線破裂 3.人員誤設定。	外洩燃燒(下游管線洩漏處)。	1.供應管路採用SS316L EP材質及雙套管加保溫(含洩漏偵測) 2.過流量保護。 3.緊急遮斷閥(SHUT BOY)。 4.PLC軟體設定。	3	B	3	1.定期檢查調壓閥。 2.人員教育訓練(異常狀況之原因)。

4.8 二乙基鋅(Diethyl Zinc)供應系統，風險控制方法

4.8.1 消防安全設備：

廠區因增建二乙基鋅(DEZn)中央配送站，原建築物外之室外消防栓仍留在原位置，造成室外消防栓防護面積不足，另外二乙基鋅為禁水性物質，配送站內不宜設置水系統滅火設備，建議將室外消防栓移至建築物外面。如(圖 16)所示。

1. 改善建議：〔5〕

依據「各類場所消防安全設備設置標準」第 40 條第一項第一款之規定，室外消防栓與建築物一樓外牆各部分之水平距離在四十公尺以下，以確保防護之標的物 100% 在射水範圍內，另外當室外消防栓射水時，水帶有可能會漏水，二乙基鋅可能會與水接觸會發生劇烈反應，有著火和爆炸的危險，為避免上述情形發生，建議將室外消防栓移至建築物外面。

4.8.2 二乙基鋅(DEZn)中央配送站內未裝設火警探測器，若發生火災，全仰賴人員發覺及通報而延誤早期滅火的先機。如(圖 17)所示。

1. 改善建議：〔5〕

依據「各類場所消防安全設備設置標準」第 19 條之規定，該二乙基鋅配送站內應設置火警自動警報設備。有可燃物與點火源存在之場所，無論其面積大小，皆有發生火災之可能。該處若漏裝探測器，將成為火災預警系統之一大死角；一旦於無人在之狀況下起火，在火災發展之初期階段勢必無法被發現，可能必須等到全面閃燃(Flashover)發生後才會被發覺，而這時滅火之困難度已大為增加，火勢亦可能會失控。

火災由起火至發展閃燃階段，僅有 2~3 分鐘時間，其溫度可由 25℃突升至 800℃以上。其蔓延之快速可參考室內火災實驗之溫度曲線。如(圖 18)所示。

身心正常的人，或許能有效偵測到火災的發生，但是，火災蘊釀之階段，並不一定會有人在現場。火警自動警報系統，乃在彌補人類之不足，適時偵測火源，以視聽信號傳達火警，警覺建築物中的人，並及早採取應變措施愈早知道火警，人員可愈早滅火，而火勢也就愈容易控制和撲滅。如(圖 19) 所示，說明滅火的時間，全依賴警報時間（即從起火到知道起火的時間）而定。

一般而言，火災之發展速度是與時間之平方成正比，因此，火警時間與反應時間愈久，火勢愈大，撲滅時間愈長。

有鑑於此，製造業之建築物內應全面裝設火災探測器，以感測起火時之煙、熱或火花等訊號，並於火災初期階段，在火場發出警鈴及將火警信號傳送至警衛室之火警受信機，用指示燈、電鈴等，顯示起火位置，以告知消防人員採取緊急應變措施。

4.8.3 二乙基鋅(DEZn)儲存櫃內雖設置偵煙式、熱感式及火燄式探測器，但皆未移報至火警受信總機，若發生火災，僅在二乙基鋅中央配送站內發出警報，監控室無法即時得知以進行滅火，建議應將探測器的信號移報至 24 小時有人駐守之場所。如(圖 20)所示。

1. 改善建議:

二乙基鋅儲存櫃為新增設的設備，其原廠就在儲存櫃內部設有偵煙式、熱感式及火燄式探測器，若發生火災，僅在二乙基鋅中央配送站內警報，監控室人員無法即時得知以進行滅火，建議應將探測器的信號移報至 24 小時有人駐守之場所，以通知人員作緊急應變處理。

2. 依各類場所消防安全設備設置標準，火警受信總機之設置規定：第 125 條火警受信總機應符合國家標準總號 8877 規定之規定，並依下列規定裝置。〔5〕

- (1) 應具有火警區域表示裝置，指示火警發生之分區。
- (2) 火警發生時，應能發出促使警戒人員注意之音響。
- (3) 應附設與手動報警機通話之裝置。
- (4) 一棟建築物內設有一台以上火警受信總機時，該受信總機處應設有能相互同時通話連絡之設備。
- (5) 受信總機附近應備有識別火警區分區之圖面資料。

- (6) 裝置蓄積式探測器或中繼器之火警分區，該分區在受信總機，不得有雙信號功能。
- (7) 受信總機、中繼器及偵煙式探測器，有設定蓄積時間時，其蓄積時間之合計，每一火警分區不得超過 60 秒，使用其他探測器時，不得超過 20 秒。

3. 第 126 條 火警受信總機之位置，並依下列規定裝置：〔5〕

- (1) 裝置於值日室等經常有人之處所。但設有防災中心時，應設於該中心。
- (2) 裝置於日光不直接照射之位置。
- (3) 應避免傾斜裝置，其外殼應接地。
- (4) 壁掛型總機操作開關距離樓地板面之高度，應在 0.8 公尺（座式操作者，應為 0.6 公尺）至 1.5 公尺之間。





圖 16 二乙基鋅(DEZn)中央配送站內室外消防栓示意圖

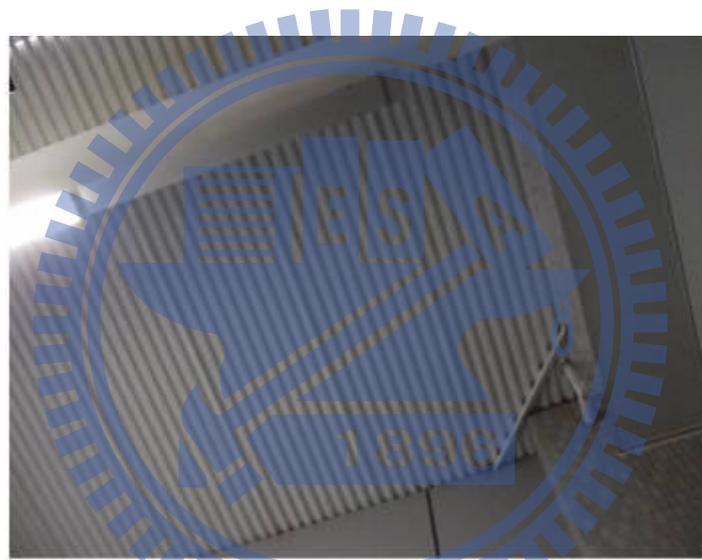


圖 17 二乙基鋅(DEZn)中央配送站內火警探測器示意圖

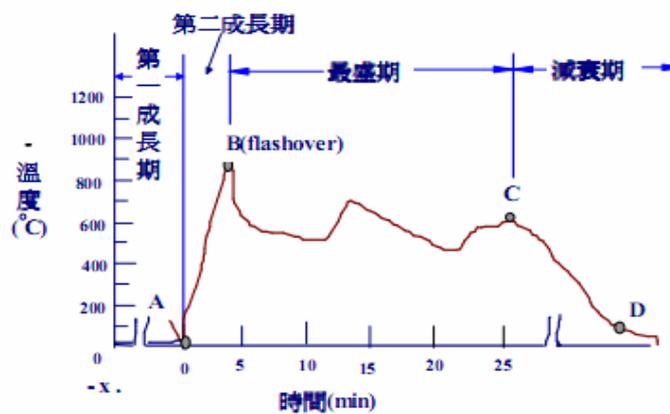


圖 18 室內火災實驗之溫度曲線圖

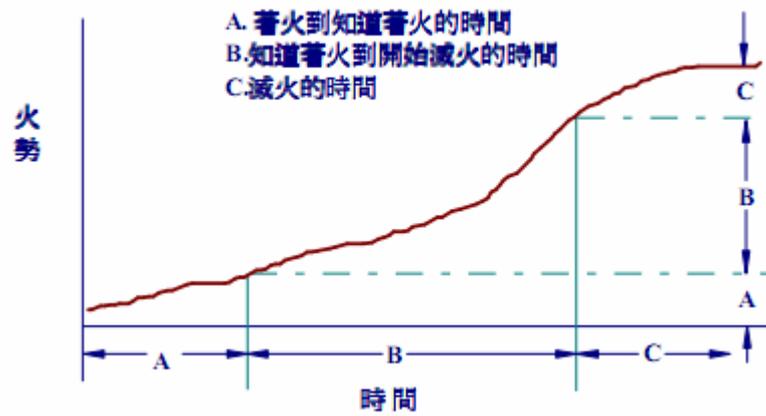


圖 19 火災之發展速度與時間關係曲線圖



圖 20 二乙基鋅(DEZn)儲存櫃示意圖



圖 21 二乙基鋅(DEZn)儲存櫃承漏盤示意圖

4.8.4 二乙基鋅中央配送站內有一袋膨脹蛭石擺放在鐵架上，但二乙基鋅輸送管線中間(B1F)及 MOCVD 生產區無放置膨脹蛭石，建議膨脹蛭石應存放在桶子內，擺放在二乙基鋅配送站入口門附近、二乙基鋅輸送管線間(B1F)及 MOCVD 生產區靠近二乙基鋅儲存桶附近，以作為意外發生時滅火使用。

1. 改善建議:

依據「各類場所消防安全設備設置標準」197 條第一項第五款之規定，膨脹蛭石屬第五種滅火設備，其可作為第 3 類公共危險物品，如發火性液體、發火性固體及禁水性物質使用。〔5〕

另依據「各類場所消防安全設備設置標準」200 條第一項第四款之規定，膨脹蛭石或膨脹珍珠岩每一百六十公升為一滅火效能值。建議膨脹蛭石應存放在桶子內，擺放在二乙基鋅中央配入口門附近、二乙基鋅輸送管線間(B1F)及 MOCVD 生產區靠近二乙基鋅儲存桶附近，以作為意外發生時滅火使用。

2. 各類場所消防安全設備設置標準」第 197 條:〔5〕

公共危險物品等場所之滅火設備分類如下:

- (1) 第一種滅火設備：指室內或室外消防栓設備。
- (2) 第二種滅火設備：指自動撒水設備。
- (3) 第三種滅火設備：指水霧、泡沫、二氧化碳或乾粉滅火設備。
- (4) 第四種滅火設備：指大型滅火器。
- (5) 第五種滅火設備：指滅火器、水桶、水槽、乾燥砂、膨脹蛭石或膨脹、珍珠岩。

3. 「各類場所消防安全設備設置標準」第 200 條:〔5〕

第五種滅火設備除滅火器外之其他設備，依下列規定核算滅火效能值：

- (1) 八公升之消防專用水桶，每三個為一滅火效能值。
- (2) 水槽每八十公升為一點五滅火效能值。
- (3) 乾燥砂每五十公升為零點五滅火效能值。
- (4) 膨脹蛭石或膨脹珍珠岩每一百六十公升為一滅火效能值。

4.8.5 危險物品管理:

二乙基鋅儲存櫃內未設置簡易承漏盤。若發生洩漏，二乙基鋅液體將蔓延至廠外他處，將無法有效侷限災害之擴散。

1. 改善建議:

二乙基鋅為高度危險之化學物質，平時鋼瓶放置於儲櫃內，儲櫃密封性不佳，二乙基鋅洩漏時會自燃並且流至二乙基鋅配送站內及廠外他處，建議應於儲存櫃內設置簡易承漏盤，並將膨脹蛭石放置於承漏盤內，作為第一道安全防護，以確保火勢有效侷限在儲存櫃內，不會擴散至廠外他處。如(圖 21)所示。

4.8.6 二乙基鋅中央配送站四周有防火區隔，但入口門及鐵捲門未裝設防溢門檻，若二乙基鋅在換裝鋼瓶時意外傾倒而洩漏，其會流竄至廠外他處，造成損失擴大。

1. 改善建議:

依據 FM 7-83 Drainage systems for flammable liquids 之規定 [16]，有機溶劑儲存場所，入口門與鐵捲門應裝設防溢門檻，足夠應付有機溶劑之洩漏量，避免二乙基鋅在換裝鋼瓶時造成傾倒而洩漏，並流竄至廠外他處，造成損失擴大。如(圖 22)所示。

4.8.7 二乙基鋅輸送管線為雙套管不鏽鋼材質(SUS 316 L)，確認內管外面是否有設置洩漏偵測器，並傳送至中央監控室發出洩漏警報，且同時自動遮斷二乙基鋅供應源，避免災害擴大。如(圖 23)所示。

1. 改善建議: [13]

依據 FM 7-7 Semiconductor Fabrication Facilities 有關 2.2.16 Bulk Chemical Distribution 之規定，二乙基鋅線滴下液體時，可能是內管已產生輕微裂痕，為了避免內管產生瞬間的破裂，對於輕微之洩漏應及時作檢查及修護保養，當二乙基鋅管線產生洩漏而悄悄也滴下至外管時，雖然洩漏接觸空氣時會自燃，但操作人員不易發覺，建議 在外管內敷設洩漏感知纜線，該纜線在接觸洩漏液體時會立即發生訊號，並可以連線至中央控制室發出洩漏警報，且同時將供應源緊急遮斷，避免災害擴大。如(圖 24)所示。

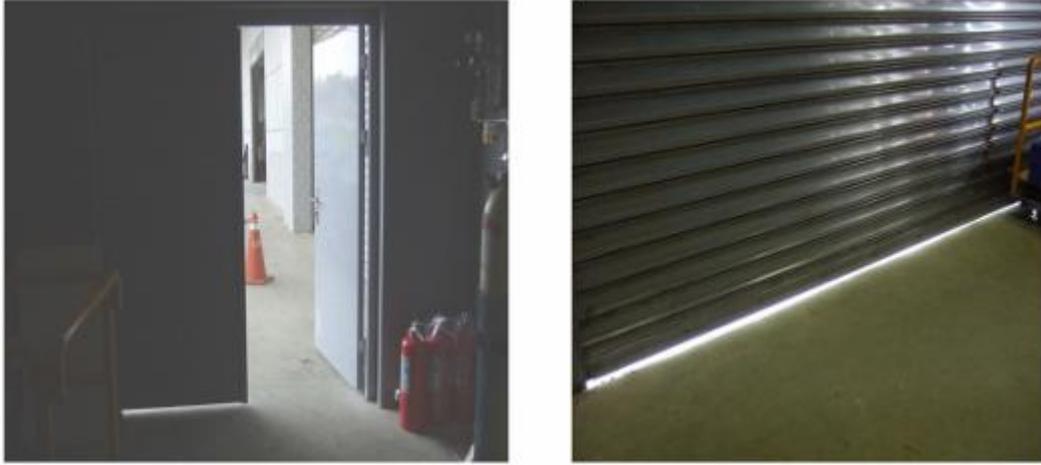


圖 22 二乙基鋅(DEZn)中央配送站防溢門檻示意圖

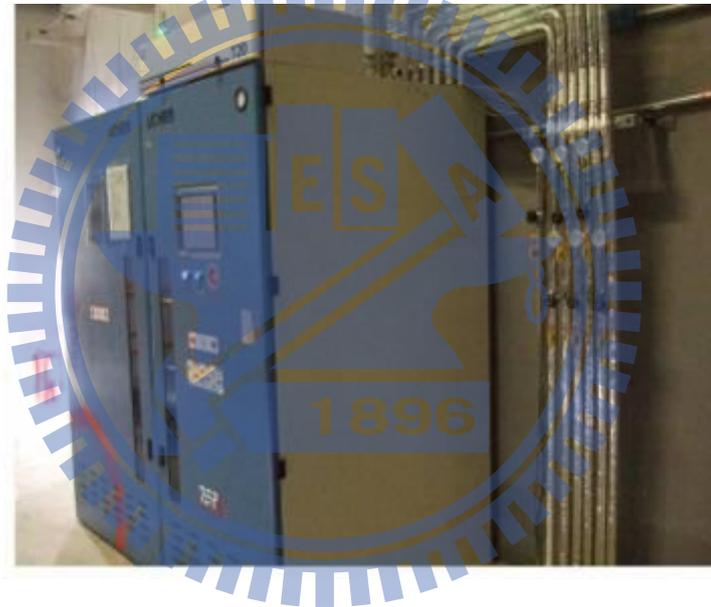


圖 23 二乙基鋅(DEZn)中央配送管線雙套管不鏽鋼材質示意圖



圖 24 二乙基鋅(DEZn)中央配送內管線洩漏偵測器示意圖

4.8.8 安全管理機制:

二乙基鋅中央配送站空調風管與 MOCVD 生產區風管連接在一起，其中無防火閘門。若二乙基鋅中央配送站或 MOCVD 生產區發生火災時，其濃煙及火燄將延著風管蔓延至其他區域，造成損失擴大。如(圖 25)所示。

1. 改善建議: [17]

空氣調節及通風設備應依據「建築技術規則」第 91~94 條規定。火災若止於室內者，一般稱為小火，其損害小，人命傷亡亦不大，若火勢進一步擴大，蔓延至其他樓層，甚至由火源棟建築物向鄰棟建築物延燒，則損害必急速擴大，此階段亦稱為延燒階段。延燒階段中阻止經內部通路擴大延燒，採取的防火對策其中對於貫通管道部份說明如下：

防火區劃的牆壁和樓地板，另一弱點是管道貫通的部份，通常這些管道內應設置「防火閘門」。其作用在使貫穿防火區劃的管道，在遇熱或煙時，能自動關閉，以免煙霧經管道擴散至各角落，增加救火與避難的困擾。此種阻止延燒擴大的設備，於大型建築或高樓建築物中，尤其需要。貫通防火區劃牆的風管，應在牆兩側風管內裝設防火閘板或閘板，惟其規格及效能沒有進一步規定，實際作業上亦未作此要求，因此建築物幾乎少有設置，以致於一室起火，而使整棟大樓充滿煙霧狀況。另外，防火閘門的效能，除火災能自動關閉外，要在平時亦可隨時用手關閉，才算符合條件。

當發生大火時一般的防火設施如防火門、防火窗、防火牆、防火貫穿結構都能適時發揮功能阻擋火勢的竄燒，但通風管通常成了火災的死角，一般主動式風管閘門必須時常保養測試，同時具有感應器及控制電路。另一種被動式防火閘門，平時非常穩定只有直接受到火災時才自動反應，當受到 150°C 溫度時即自動關閉阻絕火勢，在 300°C 以上時內部再度膨脹產生阻燃層可徹底阻絕火及煙的擴散。其主要具備特點如下：

- (1). 溫度大於 150°C 時防火閘門自動關閉，有效阻擋火焰擴散。
- (2). 溫度大於 300°C 時閘門內部材料自動膨脹，形成二次阻燃及

防煙層效果優良。

(3). 持續防火時效長，且閘門結構結實耐候性佳，可長期使用不變化。

4.8.9 二乙基鋅中央配送站、二乙基鋅輸送管線、Local scrubber 及 MOCVD 生產區為高危險的區域，除仰賴探測器發覺及通報，最好在上述地區增設監視器，並傳送至中控室監視，以達到多重安全防護為目的。

1. 改善建議:

二乙基鋅為極度危險之化學物質，加熱可能會爆炸，蒸氣會引起閃燃，極度易燃，暴露在空氣中可能會自燃，與水接觸有劇烈反應，產生毒性或易燃性氣體，故其二乙基鋅中央配送站、輸送管線及使用該二乙基鋅之 MOCVD 機台，除裝置火警探測器之外，建議在其附近再裝置監視器，以達到多重安全防護為目的。

4.8.10 二乙基鋅中央配送站附近未有標示二乙基鋅換裝鋼瓶及 Purge 管線殘留的二乙基鋅標準作業程序(SOP)，且未在附近擺放適當安全防護具，如安全面罩、防護衣、防護手套、防護眼鏡等防護具。

1. 改善建議: [8]

依據「勞工安全衛生設施規則」第 287 條之規定，雇主對於勞工有暴露於高溫、低溫、非游離輻射線、生物病原體、有害氣體、蒸氣、粉塵或其他有害物之虞者，應置備安全衛生防護具，如安全面罩、防塵口罩、防毒面具、防護眼鏡、防護衣、防護鞋等適當之防護具，並使勞工確實按照防護具穿著示意圖使用。

有發生危險之虞的機械設備應訂定安全作業程序，並張貼於工作場所，作業人員應依安全作業程序操作。二乙基鋅鋼瓶裝入與取出儲櫃為最危險的時機，作業人員應有一套統一的標準作業程序(SOP)供操作人員遵循，以避免意外發生，造成員工及財物之嚴重損失。

4.8.11 確認二乙基鋅管線穿越樓板或隔牆時，是否已設置保護套管，以避免地震或巨大振動所帶來的災害。

1. 改善建議:

當易燃性液體管線穿過水泥牆或樓板時，如果管壁與穿牆孔之接觸部位無保護設施，一旦發生地震，或振動時可燃性液體管會與牆孔摩擦撞擊，發生損壞或破裂。

有鑑於此，易燃性液體管線在穿牆部份應另外包覆套管，並在牆孔空隙以耐燃樹脂封填，使之氣密，一方面可保護管壁，另則可隔離隔牆兩側之洩漏液體，使其中一側易燃性液體外漏時，不會透過牆孔而擴散至另一側。

管線穿牆孔不可用水泥封死，否則地震時建築結構體產生運動，有可能造成管線之截彎或破裂等事故。如(圖 26)所示。

4.8.12 二乙基鋅中央配送站及 MOCVD 生產區使用二乙基鋅化學品，其屬於腐蝕/刺激皮膚物質第 1 級、嚴重損傷/刺激眼睛物質第 1 級，依勞工安全衛生設施規則第三百十八條之規定應設置緊急沖淋器。

1. 改善建議: [8]

法令規定有關緊急沖淋器設置相關規定，就國內法規而言包括：勞工安全衛生設施規則第三百十八條：雇主對於勞工從事其身體或衣著有被污染之虞之特殊作業時，應置備該勞工洗眼、洗澡、漱口、更衣、洗濯等設備。前項設備，應依左列規定設置：

(1). 刺激物、腐蝕性物質或毒性物質污染之工作場所，每十五人應設置一個冷熱水沖淋設備。

(2). 刺激物、腐蝕性物質或毒性物質污染之工作場所，每五人應設置一個冷熱水盥洗設備。

2. 鉛中毒預防規則第三十五條：雇主使勞工從事粉狀之鉛、鉛混存物或燒結礦混存物之處理作業時，應設置淋浴設備。

3. 特定化學物質危害預防標準第三十六條：雇主使勞工從事製造、處置或使用特定化學物質時，應設置洗眼、沐浴、漱口、更衣及洗衣等設備。但丙類第一種物質或丁類物質之作業場所並應設置緊急沖淋設備。



圖 25 二乙基鋅(DEZn)中央配送空調風管增設防火閘門示意圖

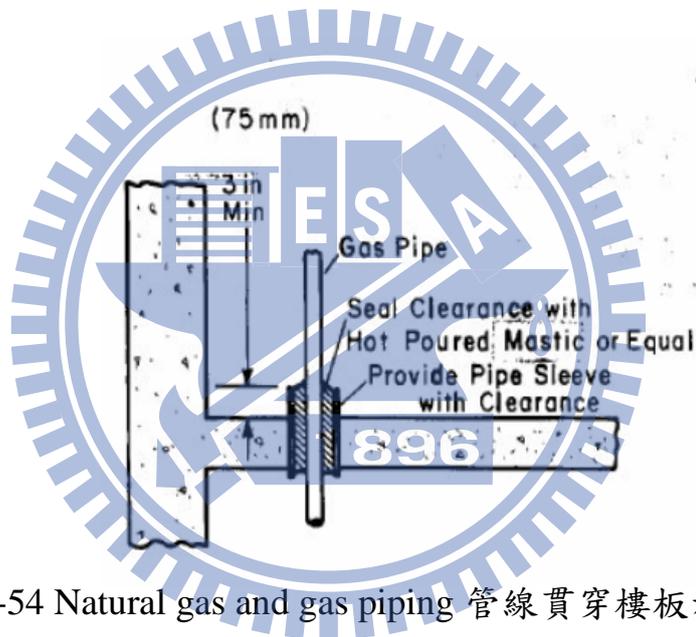


圖 26 FM-54 Natural gas and gas piping 管線貫穿樓板示意圖 [12]

第五章 結論與建議

二乙基鋅(Diethyl Zinc)屬高度易燃溶液，與水會激烈反應，在空氣中(氧氣)易自燃，形成 ZnO 粉末屬於高度易燃性氣體，在正常自燃溫度下洩漏時有自動燃燒的特性，與矽甲烷(SiH_4)同屬於高度易燃性氣體，若意外事故發生極易造成財產損失、環境污染、爆炸及人員傷亡的損害。

由於矽甲烷(SiH_4)在半導體及光電廠使用非常廣泛，而二乙基鋅則近期逐漸使用於太陽能透明導電薄膜層製程，唯業界普遍對此物質特性與危害風險，略微欠缺。

為防範危險工作場所意外事故及建置安全穩定供應系統，對安全措施加強設計，參考矽甲烷(SiH_4) 甲類危險場所安全保護裝置，如氣體儲放與操作空間、輸送管路(雙套管)、氣體偵測器、火警偵測系統、消防系統、排氣系統、高溫、高壓警報連鎖關斷緊急切斷系統、局部廢氣處理設備、中央廢氣處理設備及 safety interlock 等安全護等級。

因應薄膜太陽能電池產業製程之需求及生產規模擴大，二乙基鋅(Diethyl Zinc)，使用量逐漸增加，積極進行二乙基鋅製程與儲存危害分析評估，研擬出適用於薄膜太陽能電池新興材料製程安全風險評估，二乙基鋅危害化學物質，及系統工程設計規範、操作維護和緊急事故及應變處理、滅火與防救措施技術等措施，降低危害風險，預防事故發生於未然。

5.1 二乙基鋅 (Diethyl Zinc) 製程供應系統製程安全評估歸納 結論：

於製程設施設計的初期導入製程安全評估的概念，對於安全衛生績效、環境影響及降低成本愈有利。而在實務應用上，需要以系統化的製程安全評估方法，才能評估出風險與該投入的防護設備，採取預防與保護並重的有效安全策略，達到安全性與經濟性的平衡。

5.1.1 DEZn 供應端之安全設置：DEZn 遇水會產生劇烈反應以及在空氣中自燃，及時切斷洩漏源是防止火災擴大的最根本的手段。

而供應站的消防措施主要是隔絕 DEZn 與空氣接觸，建議設置滅火劑為膨脹蛭石、D 類金屬乾粉滅火器，唯 DEZn 中央供應室內嚴禁設消防栓、自動灑水、泡沫系統。

DEZn 供應站應設置防爆牆、火警偵測器、監視器 CCTV，DEZn 鋼瓶和控制面板置於抽風的防爆櫃內。氣瓶櫃內設置高溫探測器和火焰偵測器，信號移報至 24 小時中央控制室。

5.1.2 漏液洩流口、漏液引導溝、屋外燃燒池規劃與設計:

DEZn Room 內設置一漏液洩流口，房內地板傾斜 5%，若有漏液時會將漏液引導至洩流口排放至屋外燃燒池內。漏液洩流管溝、燃燒池需通風並且保持乾燥。

5.1.3 管路壓力與閥件的耐壓能力：

液態膨脹壓力比氣態高，所以管路與閥件需要考慮壓力變化。供應管路採用 SS316LEP 材質及雙套管加保溫。

5.1.4 DEZn 蒸汽凝結：

二乙基鋅與水發生劇烈反應，生成 ZnO 粉末和 C₂H₆ 氣體。其中 ZnO 粉末容易造成輸送設備和管道的堵塞。如二乙基鋅供應系統之 DEZn Process Supply 系統 Vent pipe，DEZn 氣體溫度變化劇烈，會造成 DEZn 凝結，故 DEZn 管路需保溫及管控 DEZn Room 穩定空調供應於溫度 18~30°C，溼度 80% 以內。

5.1.5 二乙基鋅和水之間反應釋放熱量，雖然熱量釋放約比二乙基鋅和空氣之間反應過程中的釋放量小 10 倍。在無排氣管儲存容器，二乙基鋅反應會造成壓力積聚，可能導致爆炸容器破裂。工廠中 DEZn Bulk Gas & Process Supply 系統的貯存容器，必須設計洩壓系統。

5.1.6 Safety 安全監控、緊急應變、漏液處理:

DEZn 儲存櫃內應設置承漏盤，並將膨脹蛭石放置於承漏盤內，作為第一道安全防護。

有機溶劑儲存場所，入口門與鐵捲門應裝設防溢門檻，以應付

有機溶劑之洩漏量，避免二乙基鋅在換裝鋼瓶時造成傾倒而洩漏，並流竄至廠外他處，造成損失擴大。

5.1.7 DEZn 供應與惰性氣體 (N₂ 或 Ar) 輸送壓力處理方式：

二乙基鋅溶液在惰性大氣環境中貯儲時是十分穩定。惰性氣體 (N₂ 或 Ar) 將 DEZn Tank Push gas 至 TCO 設備 gas box，以加熱方式汽化後再輸送至機台，DEZn Supply system 將 DEZn 從 Bulk tank 輸送至 Process buffer tank，此系統設計確保供應不間斷且壓力穩定。Push gas 控制系統供應量與 DEZn 供應壓力，系統控制與處理 Push gas 惰性氣體為系統設計安全主要考量。

5.2 建議：

二乙基鋅儲存及處理作業之相關規定，國內法令尚未明確規範，僅針對物質特性歸納，如勞工安全衛生設施規則第 10 條規則〔8〕危險物，係指著火性物質（禁水性物質），消防法〔10〕二乙基鋅劃歸為第三類公共危險物品，但未對於二乙基鋅作分類。公共危險物品及可燃性高壓氣體設置標準暨安全管理辦法〔11〕第 3 條二乙基鋅為第三類公共危險物品，發火性液體、及禁水性物質，第 45 條禁水性物質不可與水接觸。

綜觀二乙基鋅製程與儲存危害分析結果，與矽甲烷(SiH₄)同屬於高度易燃性液體、氣體，但尚未列入危險性工作場所審查暨檢查辦法。

根據本文之研究方法與評估所建立二乙基鋅製程安全風險評估管理規範建議，建置二乙基鋅製程系統安全基準及新興材料二乙基鋅危害預防技術，可應用於設施相仿的能源供應系統，作為系統建置、儲存輸送風險評估，危害防制與應變技術、安全保護措施與設備本質安全化設計基礎。

基於製程安全風險評估、危害預防管理之探討新興材料二乙基鋅危害完整性，提供主管機關對二乙基鋅建置與儲存管理規範法規制定之參考。

參考文獻

- [1] 趙學禮，「非晶矽太陽能電池之材料成長、元件製作及特性分析」，中央大學，碩士論文，民國 96 年 6 月。
- [2] 顧鴻壽，太陽能電池元件導論—材料、元件、製程、系統，二版，台北，系統出版社，民國 100 年 12 月。
- [3] 張振平、陳旺儀，「高科技行業金屬有機化合物危害調查-以磊晶製程為例」-勞委會勞工安全衛生研究所，民國 99 年 2 月。
- [4] 劉立文，「高科技行業使用新興材料職業衛生危害性調查研究」-勞委會勞工安全衛生研究所，民國 98 年 3 月。
- [5] 內政部消防署，「各類場所消防安全設置標準」，民國 97 年 5 月。
- [6] 張承明，「四氫化矽的製造與儲存管理規範研究」-勞委會勞工安全衛生研究所，民國 99 年 2 月。
- [7] 林瑞玉，「矽甲烷供應系統相關製程危害分析資料庫建置與應用研究」，交通大學，碩士論文，民國 92 年 6 月。
- [8] 勞委會，「勞工安全衛生設施規則」，民國 98 年 10 月。
- [9] 勞委會，「危險性工作場所審查暨檢查辦法」，民國 94 年 6 月。
- [10] 內政部消防署，「消防法」，內政部，民國 99 年。
- [11] 內政部消防署，「公共危險物品及可燃性高壓氣體設置標準暨安全管理辦法」，民國 95 年 11 月。
- [12] NFPA318 Standard for the Protection of Semiconductor Fabrication Facilities，2006 Edition。
- [13] Factory Mutual Insurance Company FM，Data Sheet 7-7/ 2.2.16 Bulk Chemical Distribution，1997。
- [14] 莊浩淵，「超低溫液體供應系統之製程危害辨識與後果分析」，勞工安全衛生研究季刊，第 16 卷第 3 期，第 276-294 頁，民國 97 年 9 月。
- [15] 吳文仁，「矽甲烷供應系統風險管理實務」-工業安全衛生技術輔導成果，民國 97 年 11 月。
- [16] Factory Mutual Insurance Company FM (Factory Mutual Engineering and Research) Data Sheet 7-83，"DRAINAGE SYSTEM FOR FLAMMABLE LIQUIDS" 2003 Edition。（工廠互保協會，資料編號 7-83，可燃性液體排放系統，2003 年）。
- [17] 內政部，「建築技術規則」，民國 94 年 7 月。

附錄一 矽甲烷(Silane)與二乙基鋅溶液(Diethyl zinc) 物質安全資料比較表

一、成分辨識資料

1-1. Silane

中(英)文名稱：矽甲烷(Silane)

分子式: SiH_4

同義名稱：Monosilane、Silicon Tetra hydride

化學文摘社登記號碼(CAS.NO.)：7803-62-5

危害物質成分(成分百分比)：100.0%

1-2. Diethyl zinc

中(英)文名稱：二乙基鋅溶液(Diethyl zinc)

分子式: $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Zn}$

同義名稱：DEZn

物質成份二乙基鋅溶液

EINECS No:209-161-3

化學文摘社登記號碼(CAS No.):557-20-0

二、危害辨識資料

2-1. Silane

物理性及化學性危害：為自燃性

健康危害效應：急性—噁心、嘔吐；慢性—噁心、食慾不振。

主要症狀：噁心、嘔吐。

2-2. Diethyl zinc

物理性及化學性危害：為發火溶液,在水中可減低其危險性。

健康危害效應：皮膚受到接觸後會造成灼傷。其氣體會引起鋅氣熱及體溫過低反應。

三、急救措施

3-1. Silane

不同暴露途徑之急救方法：

皮膚接觸：脫去污染之衣物並以大量清水沖洗。

眼睛接觸：以清水大量沖洗 15 分鐘，立刻就醫。

吸入：移至空氣新鮮處，必要時給予人工呼吸並立即就醫。

食入：若患者意識清醒給水以釋稀，並保暖。

3-2. Diethyl zinc

不同暴露途徑之急救方法：

皮膚接觸：立即脫去污染的衣著，用大量流動清水沖洗。就醫。
眼睛接觸：立即提起眼瞼，用大量流動清水或生理鹽水徹底沖洗至少15分鐘。就醫。

吸入：迅速脫離現場至空氣新鮮處。保持呼吸道通暢。如呼吸困難，給輸氧。如呼吸停止，立即進行人工呼吸，就醫。

食入：

- 1.若患者已失去意識。不可催吐或餵食任何流體。
- 2.給予大量的清水。
- 3.不可催吐。
- 4.若患者嘔吐,保持其頭部低於胸部以減低吸入危險。
- 5.若患者已失去意識,將頭部移至側邊。
- 6.立即就醫。

四、滅火措施

4-1.Silane

適用滅火劑：以水冷卻鋼瓶，儘量以惰性氣體減少氧含量。

滅火時可能遭遇之特殊危害：鋼瓶爆炸。

特殊滅火程序：關緊瓶閥；噴水冷卻容器；水場築成水幕防止火焰蔓延。

消防人員之特殊防護裝備：穿戴適當防護裝備、空氣呼吸器。

4-2.Diethyl zinc

滅火工具:使用乾性粉末,蘇打粉或石灰粉滅火。絕對不可以用水、泡沫或鹵性之混合物滅火,因牽涉到有機金屬化合物之特性。在確認無危險後,要斷絕此有機物體之外洩,確認非常安全後,需將鋼瓶移開著火區。

暴露的危險：處於一個已被控制的火勢中，當任何已經沒有反應的二乙基鋅溶液再與空氣或水接觸時，其火花會再度被重新點燃。

滅火特殊保護裝備:消防人員必須配戴全身式化學防護衣、空氣呼吸器(必要時外加抗閃火鋁質被覆外套)。

五、洩漏處理方法

5-1.Silane

個人應注意事項：穿戴適當的個人防護裝備、遠離災區。

環境注意事項：保持通風良好。

清理方法：如果是容器或容器閥洩漏，請連絡附近氣體供應商、工廠。

5-2.Diethyl zinc

個人的防範措施

儘速撤離出此區域及使用適當的保護設備。在嘗試的修理設備前，以惰性氣體先清洗設備並且確保充分的通風。如果有滲漏到恆溫槽中，緊急聯絡物料供應商。

環境的防範措施

在安全的情況下，盡量去牽制燃火不要擴散並且讓它遠離人員及設備。

六、安全處置及儲存方法

6-1.Silane

處置：

1. 遠離熱源、明火、發火源、焊接作業、熱表面及不相容物。
2. 鋼瓶需垂直固定於防火地板上並避免遭受碰撞。
3. 以手推車搬離鋼瓶。

儲存：

4. 儲存於陰涼、通風之處。
5. 空實瓶應分開存放並採先進先出原則。

6-2.Diethyl zinc

處置：

1. 遠離火種、熱源
2. 防止陽光直射、採用防爆型照明、通風設施。
3. 保持容器密封，嚴禁與空氣接觸。
4. 禁止使用易產生火花的機械設備和工具。
5. 如要搬運時，必需十分的確定鐵桶是安全而且緊閉的，以及鋼瓶上 Outlet 閥的塑膠封條是完好如初並且沒有任何鬆動及破裂的情況發生。
6. 防止任何產品倒流回機台設備中。

貯存

- (1). 儲存於陰涼、乾燥、通風良好的庫房。
- (2). 溫度不可超過華氏 125 度或是攝氏 51 度
- (3). 儲區應備有洩漏應急處理設備和合適的收容材料。
- (4). 應與氧化劑、鹵素、鹵化物等分開存放，切忌混儲。
- (5). 空實瓶應分開存放並採先進先出原則。

七、暴露預防措施

7-1.Silane

- 1 工程控制：整體換氣或局部排氣裝置。供給充分新鮮空氣以補充排氣系統抽出的空氣。

- 2 控制參數：八小時日時量平均容許濃度/短時間時量平均容許濃度/
最高容許濃度：5ppm/-/-。
- 3 生物指標：LC50 9600ppm/4H
- 4 個人防護設備：呼吸防護：空氣呼吸器
- 5 手部防護：安全手套(防滲手套)
- 6 眼睛防護：安全護目鏡、護面罩
- 7 皮膚及身體防護：連身式防護衣、工作鞋
- 8 衛生措施：工作後儘快脫掉污染衣物，工作場所嚴禁抽煙或飲食。
保持乾淨清潔。

7-2. Diethyl zinc

- 1 工程控制：嚴加密閉，提供充分的局部排風。
- 2 暴露狀況的控制
OSHA 或 ACGIH: 尚未規定
OEL 和 MEL: 尚未規定
由鋅的氧化物所產生之氣體:
長時間的暴露在外最多不能超過 8 小時 TWA 參考的時間限制內及
鋅的化合物 5mg/m³；短時間的暴露在外極限 10mg/m³ (在 15
分鐘參考的時間限制內)必需確認是存在通風狀況充足及流通的環境
中。
3. 個人的防護措施
個人獨立的呼吸裝置，防火手套，面罩與安全護鏡及防火鞋與防火
衣(外套)，Safety shower 和眼藥水。
呼吸系統防護：空氣中濃度超標時，必須佩戴自吸過濾式防毒面具
(全面罩)。緊急事態搶救或撤離時，應該佩戴空氣呼吸器。
- 4 眼睛防護：呼吸系統防護中已作防護。
- 5 身體防護：穿防靜電工作服。
- 6 手防護：戴橡膠手套。
- 7 其他防護：工作現場禁止吸煙、進食和飲水。工作完畢，淋浴更
衣。保持良好的衛生習慣。

八、物理及化學特性

8-1. Silane

物質狀態：氣體

顏色：無色

PH 值：NA

蒸氣壓：NA

氣味：不快的臭味

沸點/沸點範圍：-112°C
蒸氣密度(空氣=1)：1.11 at STP
溶解度：不溶

8-2. Diethyl zinc

沸點：(224°F)118°C
蒸氣壓： $\log_{10}P(\text{mmHg}) = 8.280 - 2190/T(\text{K})$
氣體密度(at (70°F) 21°C, 1atm)：液體
凝固點：(-18°F) - 28°C
密度 1.198g/ml @ (86°F)30°C
水中之可溶性：反應激烈
外觀顯露：無色的溶液

九、安定性及反應性

9-1.Silane

安定性：安定
特殊狀況下可能之危害反應：-
應避免之狀況：高溫、直接接觸空氣
應避免之物質：鹼液、氧化劑、鹵素
危害分解物：矽及氫(420°C)

9-2.Diethyl zinc

應避免之情況
與空氣接觸後容易發生起火之反應，對光敏感，不可加熱。
注意：二乙基鋅溶液在惰性大氣環境中貯儲時是是十分穩定。
應避免之物質：
避免水、空氣或其他氧化物。
危險的分解物質：
鋅氧化物的殘餘粉末，氧及二氧化碳。

十、毒性資料

10-1.Silane

急毒性：-
局部效應：-
致敏感性：-
慢性或長期毒性：-
特殊效應：-

10-2.Diethyl zinc

氧化鋅粉末的過程會造有毒物質，其徵兆有喉嚨感到刺激與乾燥，咳嗽，呼吸困難，關結與肌肉疼痛，發燒，疲倦及大量流汗。因為血液中的蛋白質改變，導致體溫過低等反應，依據致癌物或可能性的致癌物，二乙基鋅並沒有被列入 IARC；NTP 及 OSHA，此產品有列於 TSCA 的目錄中。

十一、廢棄處置方法

11-1.Silane

廢棄處理方法：在通風良好處排放或關緊瓶閥送回供應氣體商回收。

11-2.Diethyl zinc

在廢棄處理方面應該根據地區性和國家的規章。與供應商處理廢棄空瓶及任何尚未使用完全的剩餘量。

十二、運送資料

12-1.Silane

國際運送規定：US DOT 2.1 / CTDG 2.1

聯合國編號：2203

國內運輸規定：道路安通安全規則第 84 條。

12-2.Diethyl zinc

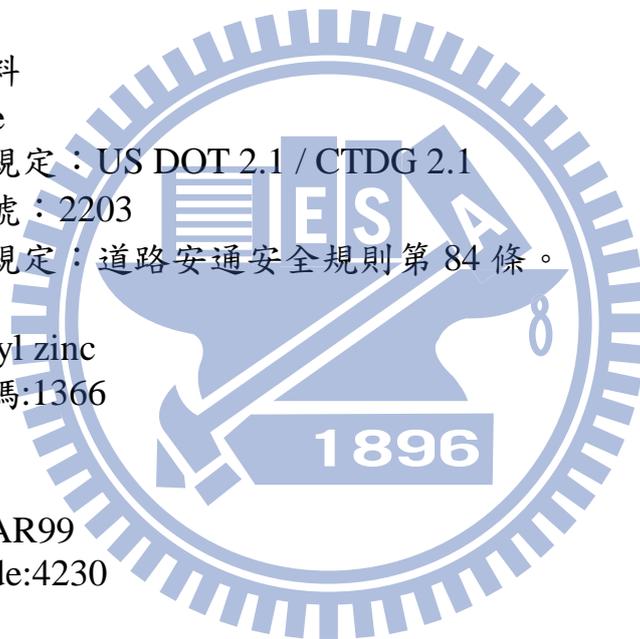
聯合國編碼:1366

等級:4.2

PGI

ECCN#:EAR99

IMDG Code:4230



附錄 二 廠務 Diethyl Zinc System 安全衛生設施現場查核表〔14〕

表 20.1 查核項目：特殊氣體 (Special Gas)

項目	內容	現況說明與建議	備註
1	不相容性氣體儲存，(如酸性、鹼性、可燃性、氧化性、親水反應性、自燃性)必須分隔不同房間儲存。	<p>■部分符合</p> <p>自燃物質與禁水性物質二乙基鋅，隔離置放於氣瓶櫃與獨立中央供應機房存放</p>	□不適用
2	氣體房與潔淨室製程區之間應隔離，應有 2 小時防火等級以上之區隔。	<p>■符合</p> <p>防火時效有 2hrs</p>	□不適用
3	儲存自燃性、易燃性、腐蝕性及毒性製程氣體鋼瓶位置應為標示八種建議位置。DLC 應僅於自燃性、易燃性與高反應性氣體適用，腐蝕性與毒性應不需 DLC。	<p>■符合</p> <p>1.有損害限制結構 DLC 設計，其與潔淨室相鄰之牆有 2-hr 防火時效。 2.可燃性氣體房其門採用防火門。</p>	□不適用
4	應提供毒性或易燃性氣體洩漏偵測器，作動時在該區發出警報並關閉氣體的供應，警報須能連續的監測。警報器一旦驅動，縱然濃度回復警報值以下，除非有專責人員辨識原因後，方可解除，不得由系統自行自動消除。	<p>■符合</p>	□不適用
5	自燃性或易燃性氣體房，應設置撤水頭，撤水頭密度為 10mm/min (0.25gpm/ft ²) 整個房間，作動溫度為 141°C (286°F)。	<p>□符合</p>	<p>■不適用</p> <p>二乙基鋅屬禁水性，與水接觸會發生劇烈反應，有著火和爆炸的危險，為避免上述情形發生，建議不設置撤水頭並亦將室外消防栓移至建築物外面。</p>
6	危害性氣體儲存與配送室應有機械式通風換氣，排氣量最少要有 0.31m ³ /min · m ² (1cfm/ft ²)，且濃度不可超過容許濃度或 LEL。	<p>■符合</p> <p>建議可用壓力計來判定排氣是否不足。</p>	□不適用
7	自燃性或可燃性氣體供應與儲存場所使用之電氣機械設備，應使用合適之防爆設備(正壓、耐壓、本質安全等)。	<p>■符合</p> <p>二乙基鋅中央配送站，其電氣設備如燈具、電控箱、喇叭、火警警報手動開關採用防爆電氣設備，其等級有 d2G4 及 d 3a G5</p>	□不適用
8	危害性氣體(Hazardous Gas)輸送氣體之管路、管線及接頭之材質要為不可燃結構(雙套管)，或是可燃結構但外加不可燃之外套，且具有洩露偵測功能。	<p>■不符合</p> <p>二乙基鋅輸送管線為雙套管不鏽鋼材質(SUS 316 L)，需在外管內敷設洩漏感知纜線</p>	□不適用
9	危害性氣體(Hazardous Gas)輸送管線、管路及接頭要是焊接的。	<p>■符合</p>	□不適用

項目	內容	現況說明與建議	備註
10	自燃性、可燃性、腐蝕性及毒性物質之製程用氣體鋼瓶應置於氣瓶櫃內。	■符合 二乙基鋅採氣體鋼瓶存放	□不適用
11	在氣瓶櫃區內應提供穩固每個鋼瓶的裝置。	■符合 有鐵鍊固定	□不適用
12	內置自燃、可燃及易燃性氣體氣瓶櫃應提供內部撒水裝置，撒水頭額定啟動溫度 74°C (165°F)。	□符合	■不適用 二乙基鋅屬禁水性，與水接觸會發生劇烈反應，有著火和爆炸的危險，為避免上述情形發生，建議不設置撒水頭
13	氣瓶櫃取物口開口面的平均抽氣速度不應小於 1m/s；任一點的最小空氣速度為 0.75m/s。	■符合	□不適用
14	2 支鋼瓶之氣瓶櫃排氣量為 8.5CMM [300cfm]；3 支鋼瓶之氣瓶櫃排氣量為 12.7CMM [450cfm]為基準。	■符合	□不適用
15	對於氣體間混合物，排氣量計算應根據 FM 之計算公式。	□符合	■不適用
16	若在氣瓶櫃清洗排氣管線中有二乙基鋅或是易燃與毒性氣體，則必須提供排氣處理系統。	■符合 有提供排氣處理系統	□不適用
17	自燃性、可燃性、腐蝕性及毒性物質之氣瓶櫃應設置氣體洩漏偵測器，啟動時應使鋼瓶停止供應及提供警報給緊急控制中心。	■不符合。僅在二乙基鋅中央配送站內發出警報，監控室無法即時得知以進行滅火，建議應將探測器的信號移報至 24 小時有人駐守之場所。	□不適用
18	自燃性物質氣瓶櫃應設置火焰(UV/IR)偵測器，偵測器啟動時應使鋼瓶停止供應及提供警報給緊急控制中心。	■不符合 同上所述	□不適用
19	氣體偵測器連動情況下，緊急關閉閥(ESOV)能自動關閉	■符合	□不適用
20	停電情況下，緊急關閉閥(ESOV)能自動關閉 ⁽²⁰⁾	■符合	□不適用
21	氣瓶櫃內無機械排氣情況下，緊急關閉閥(ESOV)能自動關閉	■部分符合 Warning alarm	□不適用
22	火災偵測器(若有提供)連動情況下，緊急關閉閥(ESOV)能自動關閉	■符合	□不適用
23	過流量閥開關啟動情況下，緊急關閉閥(ESOV)能自動關閉	■符合	□不適用
24	地震情況下，緊急關閉閥(ESOV)能自動關閉	■符合 地震儀按裝，並加入 interlock	□不適用
25	氣瓶櫃外表面必須標示其氣體化學式、俗稱及其濃度，氣瓶櫃內管線及閥件要標示功能。	■符合	□不適用

項目	內容	現況說明與建議	備註
26	氣瓶櫃的外部表面應有資料標示：如緊急聯絡、電話號碼、急救建議、第一時間點應變步驟等。	■符合	□不適用
27	鋼瓶應以掛籤標示其目前狀態，如空瓶、使用中。	■符合	□不適用
28	管路表面應標示流動方向。	■符合	□不適用
29	排氣氣體(purge gas)如氮氣、氬氣必須由鋼瓶供應之，不可由中央供應系統供應。	■符合	□不適用
30	氣瓶櫃鋼板厚度是否符合 SEMI 要求(底板 3.4mm、其他 2.7mm 鋼板)。	■符合	□不適用
31	自燃性、可燃性氣體鋼瓶櫃需有接地裝置。	■符合	□不適用
32	氣體洩漏偵測器及警報設備應每月至少實施保養、測試及維護各一次，偵測設備應每年至少校正一次，以保持其正常功能，結果作成紀錄，保存一年。	■符合	□不適用
33	使用自燃性或可燃性氣體之設備，應有靜電去除之設置。	■符合 有接地，但無靜電去除裝置	□不適用
34	距可燃性氣體或氧氣之設備 5m 以內，應嚴禁煙火且不得放置危險性物質。	■符合	□不適用
35	二乙基鋅鋼瓶未放置在鋼瓶架上時，要以開放式鏈條安全的包圍，鋼瓶要與鄰近結構隔離，最小距離保持 2.7m (9 ft)。	■符合	□不適用
36	二乙基鋅鋼瓶室外儲存，其儲存區至少要有 3 面開放，使鋼瓶固定於鋼架上，當有使用遮篷時，高度最少要在 3.7m(12 ft) 以上。	□符合	■不適用 Bulk gas 420kg 二乙基鋅鋼瓶，備品置放區置放 gas yard 開放空間
37	二乙基鋅鋼瓶彼此間要以 6.3mm(1/4 in) 厚之鋼板隔開，並延伸至鋼瓶基腳下 76mm(3in)，鋼板要從掃氣控制面板頂端延伸至鋼瓶閥下方 305mm(12 in) 處。	□符合	■不適用
38	二乙基鋅儲存或分送區，不管是機械或自然方式通風，至少其通風量為 $0.31\text{m}^3/\text{min} \cdot \text{m}^2(1\text{cfm}/\text{ft}^2)$ 。	■符合	□不適用
39	有設置二乙基鋅氣體洩漏偵測裝置。	■符合	□不適用

表 20.2 查核項目：排氣系統

項目	內容	現況說明與建議	備註
1	排氣管路系統應為獨立。	<p>■符合</p> <p>排氣系統分為 一般排氣：材質為鍍鋅鐵管 酸排氣：材質為 SUS 304+coating</p>	<input type="checkbox"/> 不適用
2	排氣系統緊急電源供應，至少 50%正常運轉之電力。	<p>■符合</p> <p>1.柴油發電作為緊急供應電力 2.緊急供應電力為 24-hr 以上</p>	<input type="checkbox"/> 不適用
3	排氣管應有量測點，其位置應滿足環保法規要求。	<p>■符合</p> <p>不僅有量測點，且有監測點</p>	<input type="checkbox"/> 不適用
4	管徑大小須提供足夠的管內輸送速度(如表一所示)。	<p>■符合</p> <p>建議建立 Facility table</p>	<input type="checkbox"/> 不適用
5	製程排出的廢氣不應被循環。	<p>■符合</p>	<input type="checkbox"/> 不適用
6	排氣管路表面標示物質及流向。	<p>■符合</p>	<input type="checkbox"/> 不適用
7	排氣管路材質選用，亦依廢氣類別分開獨立。	<p>■符合</p> <p>一般排氣管路材質為平滑鍍鋅鐵管 酸排管路材質為 SUS + FM Coating</p>	<input type="checkbox"/> 不適用
8	各個排氣系統有一台備用風機(n+1)之設計。	<p>■符合</p> <p>每個排氣系統(一般及酸)都有 3 台風機，平時運轉為各 2 台並聯運轉(1 台市電+1 台緊急電)，1 台市電備用。</p>	<input type="checkbox"/> 不適用
9	排氣系統的管件選用與安裝方法應參考 ACGIH 之建議方式。	<p>■部分符合</p>	<input type="checkbox"/> 不適用
10	排氣系統勿裝設防火風門。	<p>■符合</p> <p>二甲基鋅(DEZ)中央配送站排氣風管，不增設防火開門。</p>	<input type="checkbox"/> 不適用

表 20.3 查核項目：撒水系統

項目	內容	現況說明與建議	備註
1	製程區與 HPM 區有設置自動撒水系統保護。	<p>■符合</p> <p>製程區、公共區有自動撒水系統</p>	<input type="checkbox"/> 不適用

項目	內容	現況說明與建議	備註
2	系統元件、管線、配件應具有 12.1bar (175psi)以上耐壓等級，消防設備應有 FM/UL 或 CNS 認證。	■符合 至少有 CNS 等級以上之認證	<input type="checkbox"/> 不適用
3	警報逆止閥下方有裝置水力設計銘牌。	■符合 全廠共有 14 個警報逆止閥，且每個警報逆止閥都有銘牌標示其所涵蓋之區域。	<input type="checkbox"/> 不適用
4	撤水管路吊架應裝有固定帶以避免 C 型鉗在地震發生時滑動。	■符合 製程操作區潔淨室有安裝 L 型或 S 型防滑裝置，但於附屬設備 pump room 則無，建議應增加此處之防震支撐及防滑裝置。	<input type="checkbox"/> 不適用
5	消防管路吊架設計，依不同管徑大小，距離不可過大。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用
6	防震支撐 (Sway Brace)符合 NFPA13 之規定，且有計算書。	■符合 潔淨室有，但於附屬設備 pump room 則無。	<input type="checkbox"/> 不適用
7	撤水頭經 UL/FM 或 CNS 認證，溫度等級與反應時間符合需求。	■符合 撤水頭為 UL 認證	<input type="checkbox"/> 不適用
8	撤水頭安裝有依消防設置標準規定。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用
9	風管等障礙物之寬度超過 120 公分，該障礙物下方有設置撤水頭。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用
10	消防水源供水為雙水源，但兩套幫浦(電動+柴油引擎)。	■部分符合 雙套幫浦(都為電動)，但有緊急電供應	<input type="checkbox"/> 不適用
11	每一消防水槽容量：(撤水量+1900lpm [500gpm])×持續用水時間(1.5 小時)，並有水位監控信號至經常有人之處。	■符合 水量為 750 噸，可供應 2-hr 以上	<input type="checkbox"/> 不適用
12	消防主管線設計成一迴路，其遮斷閥皆上鎖管制。	■部分符合 消防栓有設計為環狀回路，撤水系統則無，有設置遮斷閥並上鎖管制。	<input type="checkbox"/> 不適用
13	幫浦選定有依水力計算選用。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用
14	幫浦、馬達、控制器、關鍵閥件、壓力開關需有通過認證合格。(FM/UL 或 CNS)	■符合 CNS	<input type="checkbox"/> 不適用
15	幫浦現場性能測試，測試曲線達到原廠測試認證合格曲線以上。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用
16	幫浦之狀態訊號有傳送至有人常駐之位置與 ERC。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用

表 20.4 查核項目：其它滅火系統

項目	內容	現況說明與建議	備註
1	室外消防栓與建築物之水平距離不得超過 40m。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用
2	室外消防栓三公尺以內，不可有障礙物阻擋，影響救災。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用
3	室內消防栓接頭與建築物任一位置之水平距離不得超過 25m。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用
4	室內消防栓設備之配管依各類場所消防安全設備設置標準第 32 條設置。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用
5	止水閥以明顯之方式標示開關之狀態。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用
6	全廠區有設置手提滅火器，位置適當，且有明顯標示。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用

表 20.5 查核項目：火警系統

項目	內容	現況說明與建議	備註
1	一般火警探測器之設置位置，皆符合國內消防法之規定設置，且運作正常。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用
2	二乙基鋅(DEZn)中央配送站內鋼瓶組(cylinder pack)必須要安裝經 FM 認證之火警探測器。	■不符合 未裝設使用 FM 認證之火警探測器。	<input type="checkbox"/> 不適用
3	火警受信總機應有火警區域表示裝置，警報訊號。	■符合	<input type="checkbox"/> 不適用
4	AHU 空調箱內提供有效之偵煙器。	■符合 警報值 2.5% 遮蔽率	<input type="checkbox"/> 不適用
5	火災警報系統至少應有兩個獨立且可靠的電力來源。	■符合 UPS 及柴油發電機	<input type="checkbox"/> 不適用

表 20.6 查核項目：被動式防火及煙控系統

項目	內容	現況說明與建議	備註
1	潔淨室隔間防火時效 1 小時以上。	■符合 隔間材質為鋁蜂巢	<input type="checkbox"/> 不適用

項目	內容	現況說明與建議	備註
2	穿越防火牆的地方應用 FMRC 或 CNS 認可防火填塞適當地密封。與貫穿部位合成之構造，應具有一小時以上之防火時效。	■符合	□不適用
3	防火構造之建築物其防火時效依建築技術規則建築設計施工編規定。	■符合	□不適用
4	垂直管道間牆壁與維修門之防火時效，應有 1 小時以上。	■符合	□不適用
5	貫通防火區劃牆之空調風管應在風管內安裝認證合格的防火閘門。	■不符合 尚未按裝 UL 認證	□不適用
6	煙控系統設計，依照國內法規進行設計。	■符合	□不適用
7	煙閘門(Smoke Damper)之一般構造、材質及性能等，應滿足 UL 555S Class 1 或同等級以上標準(如 JIS)。	■符合 UL 認證	□不適用
8	做為緊急使用通風機，其馬達與其他暴露於氣流中的元件，設計必需可以溫度 250°C (482°F) 環境下操作至少一小時。	■符合 風機可耐 300°C/1.5-hr	□不適用
9	有備用排煙風機及連接緊急備用電源。	■符合	□不適用

表 20.7 查核項目：局部廢氣處理設備

項目	內容	現況說明與建議	備註
1	供應商有提供第三者認證的報告包含 SEMI S2 評估報告及 S10 危害分析。	■部分符合	□不適用
2	處理效率高於 90% 或排放濃度低於 25% TLV/LFL。	■符合	□不適用
3	供應商有提供最大靜壓損、處理流量及箱體排氣量。	■符合	□不適用
4	應考慮備用 local scrubber 的設計，與考慮啟動的轉換時間。	■部分符合 Diethyl Zinc vent 採吸附式	□不適用
5	處理可燃性或易燃性氣體，在 local scrubber 進口及出口均應使用不可燃材質。	■符合	□不適用
6	local scrubber 若使用可燃性材質及含有可燃物，在 local scrubber 進氣口及排氣口有安裝自動撒水頭。	□符合 local scrubber 構造為金屬不可燃材質，進排氣管路材質為 SUS+ FM coating	■不適用
7	local scrubber 不可使用自動旁路。	■符合	□不適用
8	local scrubber 排氣溫度過高與生產機台有互鎖機制(停止化學品供應)。	■符合 說明 Central Scrubber Shut down, Local Scrubber 未連動 Shut down	□不適用

項目	內容	現況說明與建議	備註
9	電源須有上鎖/標籤裝置(lockout/ tagout)。	■符合	□不適用
10	local scrubber 內所使用之反應劑應為不可燃。	■符合	□不適用
11	local scrubber 安裝偵測感應器，並與系統整合。	■符合 有設置 thermal 與 gas detector	□不適用

表 20.8 查核項目：中央廢氣處理設備

項目	內容	現況說明與建議	備註
1	中央排氣洗滌塔不可置於潔淨室內或其上方之樓地板上。	□符合 建廠設計時有計算 RF 樓地板的載重負荷，可承受包括中央排氣洗滌塔、排氣風機等的重量。	■不適用
2	中央排氣洗滌塔煙囪位置應遠離空調進氣口。	■符合	□不適用
3	中央排氣洗滌塔效率或排放濃度應滿足環保署規定。	□符合	■不適用
4	中央排氣洗滌塔供應商應提供性能曲線包含靜壓損及風量。	■符合	□不適用
5	中央排氣洗滌塔污水槽之進水與排水線應為本質安全設計(亦即系統排水量應高於補水量)。	■符合	□不適用
6	中央排氣洗滌塔若使用可燃性材質及含有可燃物，應在中央排氣洗滌塔進氣口及排氣口安裝自動灑水頭。	■符合 Scrubber 內有設置撒水頭	□不適用
7	當排氣降低至一定的設定點以下時，應提供廠務人員(ERC 人員)在看得見且聽得到範圍內的警報。	■符合 設定點設置於 scrubber 出口末端	□不適用
8	電源須有上鎖/標籤裝置(lockout/ tagout)。	■符合	□不適用
9	每年應定期測試壓力、風量與維修保養。	■部分符合	□不適用
10	洗滌塔必須定期檢測分析，以確保洗滌效率。	■符合	□不適用