

出國報告(出國類別：進修)

# 赴美國愛荷華州立大學進修碩士出國 報告

服務機關：國防部軍備局生產製造中心第四〇一廠

姓名職稱：張子龍上尉

派赴國家：美國

出國時間：106年8月7日至108年6月11日

報告日期：108年9月25日

# 摘要

本次進修係奉國防部 106 年 7 月 14 日國人培育字第 1060011297 號令核定赴美國愛荷華州立大學(Iowa State University)進修電機系工程碩士，進修期間自 106 年 8 月 10 日至 108 年 8 月 9 日止。職於 2 年進修期間完成修業取得碩士學位，另於 108 年 6 月 11 日返抵國門，並依規定於 6 月 12 日向軍備局生產製造中心第四〇一廠辦理報到手續。本出國報告係針對個人在美國期間之進修過程等心得做一整理，內容格式分為目的、進修過程、心得與建議、參考資料及附件等項。本次進修內容主要係針對光電子領域及半導體材料設計及製程應用進行探討，以期增進光學及電子設備性能。

## 目次

壹、目的	.....	4
貳、進修過程	.....	4
參、心得與建議	.....	18
肆、參考資料	.....	19
伍、附件	.....	21

## 壹、目的

本次係奉國防部 106 年 7 月 14 日國人培育字第 1060011297 號令，赴美國愛荷華州立大學(Iowa State University)進修電機碩士 2 年，係以光電子領域及半導體材料設計及製程應用為主要探討方向，進修期間自 106 年 8 月 10 日至 108 年 8 月 9 日止，並於期間內完成學位要求資格後取得愛荷華州立大學碩士電機工程及電子工程學位，於核定修業期限前返廠辦理報到手續。

本報告係依據「行政院及所屬各機關出國報告綜合處理要點」相關規定撰擬，旨在提供進修經驗及論文研究心得，提供相關人員參考運用。

## 貳、進修過程

### 一、進修學校暨環境介紹

愛荷華州立大學（Iowa State University）是一所位於美國愛荷華州艾姆斯的公立大學（如圖 1、圖 2），由農業與生命科學商學院、設計、工程學、人文科學、教育與科學、獸醫學院等學院組成。愛荷華州立大學以其在科學，工程和農學方面的專業見長，是世界上第一台電子計算機的誕生地，農業合作推廣服務的誕生地，校園包含超過 160 幢樓宇，有許多建築已列入國家史蹟名錄。



圖 1:愛荷華州立大學校景

本校工程學系為全美國綜合排名前 50 名之大學，碩士及博士學程分為航太、農業及生技、化學及生物、土木環境、電機電子、工業生產、材料科

學、機械科學等工程學系。



圖 2:愛荷華州立大學校景

愛荷華州立大學學生約為 35,000 員，其中約 30,000 名大學部學生，5,000 名研究所學生，國際學生約為 3,700 員，佔校比例約為 10.5%，除國際學生外，並有許多國際及跨州學生赴該校就讀。

## 二、碩士學程修業規定及學術資源介紹

職進修項目為電機電子工程學系 (Electrical and Computer Engineering) 工程碩士學位 (Master of Engineering)，依愛荷華州立大學研究生畢業要求規定，需於學程內修滿專業課程 30 學分，其中 21 學分以上必須為碩士以上課程，且每學期必須參加專業研習會，並於課程中研討專業相關知識。

### (一)專業領域課程學分：

職於本次進修學程，主修電機系及電子系，並依學校規定修業完成獲得電機系及電子系碩士學位，其專業課程概述如後：

#### 1. 微電子製造科技

本課程主軸為學習關於現代電路晶體設計實驗製造，提供進階半導體電路體設計及實體製造方式，並提供有關於半導體材料運用於相關電晶體電路設計架構，課程要求須有基本半導體及電子電路設計相關基本知識，俾利學習順利。職於本課程專題報告主題為「可延展性電子設備」(Flexible Electronics) 談討，藉由相關資料蒐集及探討最新科技，期能運用於精進國防科技。

## 2. 微機電及工程設計方法與材料運用

微機電(Micro Electro Mechanical Systems, 簡稱 MEMS), 系統按定義不同, 略分為兩類, 第一類定義微機電系統本身的大小在釐米(mm)到毫微米( $\mu\text{m}$ )之間, 甚至是到奈米(nm)程度的機電模組系統; 第二類則認為微機電系統是能達到微米以下之運動精確度, 而機械本身的大小沒有限制。雖然有這樣的分類, 然本文所謂之微機電系統則以第一類為是。微機電系統是一種整合電子、電機、機械、光學、控制、材料、化學及生醫等功能元件的模組系統。微機電之製造技術十分多樣, 涵蓋有微加工技術、光刻鑄模技術、微精密機械加工技術等, 使得所研製之元件的材料選擇及幾何形狀, 變得多樣化, 如微夾子、微手術刀、微幫浦、微閥、微針管、微馬達、微連桿及微齒輪, 以及微感測器, 如微內視鏡、微壓力計、微探針及微化學分析儀等來組成。

## 3. 微米及奈米系統設備

藉由 COMSOL 軟體模擬微米及奈米系統設備操作情形, 利用不同材質及結構的分析與設計, 由軟體模擬其設計可行性後, 加以實體的製造過程, 軟體可輸入不同材質的特性, 電流電壓及溫度考量等變因, 進而分析微系統壽命及實用性等效能。

## 4. 光電子設備及應用

光電子技術是由光子技術和電子技術相結合而形成的一門新技術, 它是研究光與物質中的電子相巨作用及其能量轉換相關的技術, 涉及光通信、光電顯示、半導體照明、光存儲、激光器等多個應用領域, 是信息和通信產業的核心技術。本課程就各主題深入淺出介紹目前技術、未來發展及其應用, 光電子技術的具體應用目前主要包括有: 光纖通信技術、光碟存儲技術、顯示技術和硬拷貝技術、光學感測器技術及光學互連技術。隨著光電子器件的多樣化、微型化和各種功能和技術指標的發展, 光電子技術的應用將更加廣泛, 對國民經濟和軍事的影響更日益深刻和巨大。

## 5. 科學運算

本課程利用數值計算 (Numerical Computation)發展各種計算的方法, 以利用電腦來解數學問題。所以, 它包括了許多層面, 最外一層是應用, 其次是數值方法之建立與數學分析, 再來是該數值方法之電腦程式設計。往往較複雜而不能直接用解析的方式求解, 必需要用數值方法在電腦上解該數學

問題。數值計算的領域，可以說是應用科學的工具。本課程重要章節如方程式的根、數值微分與數值積分、內插 (Interpolation) 與曲線撮合(Curve Fitting)、數值微分方程、解線性系統(Linear System)，旨在利用 Matlab 軟體及不同運算方式實際運算並獲得其最佳運算結果。

## 6. 遙感探測測量科技

本課程係針對近年來遙感探測技術(Remote Sensing)科技介紹及其運用，循序介紹遙測基本概念、遙測光譜特性、光譜影像處理與評估、遙測應用實例介紹、光達(Lidar)及國際間各遙測衛星等介紹；遙感探測(RS)與地理資訊系統(GIS)與全球定位系統(GPS)相互結合運用也對科學研究、民生、及軍事運用上產生了深遠影響。

## 7. 資訊安全及隱私

本課程利用不同機器學習演算法及大數據分析，研析其對不同資訊安全及隱私應用。機器學習演算法讓運算系統從先前的經驗與既有的資料中學習。近期的趨勢是將機器學習演算法用於網路安全的防護，聚焦於發展智慧功能以自動偵測威脅並即時阻擋，過程完全無需人力。機器學習演算法是透過運用大量的資料辨認威脅模式，並透過智慧功能辨識可能繞過企業安全系統的新威脅。

## 8. 網路安全

本課程主要介紹網路安全的機制以及原理，包含詳細檢查網路標準，協議及其執行應用。課程重要章節包含 TCP / IP 協議套件、網路應用協議、網路安全問題、網路攻擊和解決技術並著重實際操作。

### (二) 學程專題報告

職於本次碩士進修課程完成「延展式電子設備科技及其應用」專題報告，其相關內容摘述如后：現今高階薄膜材料及設備已經廣泛應用於延展式電子設備。延展式電子設備係指該電子設備可以被彎曲、摺疊、延展、或變形後，仍可以正常功能使用而不失去其功性能，延展式電子設備又可被稱之為延展式或彈性電路。基本上，其組成為利用可延展電路材料結合彈性電路基底，該基底可為彈性塑膠、金屬鋁箔、或其他化合物等。本專題置重點於探討現今延展式電子設備科技、應用及未來科技等。

## 1. 前言

現今太空產業蓬勃發展時代，單晶體太陽能電池藉由高效率且輕薄特性運用於衛星科技等方面，這些單晶體太陽能電池就如玉米薄片般大小。第一個延展式電子設備是由晶體矽晶圓於彈性塑膠基底上製程，其大小約為 100 微米。現今延展式電子設備例如晶體管 (Transistors)，已廣泛使用奈米薄膜科技 (Nano-Memberane) 製作，其稱為薄膜晶體管 (Thin Film Transistors)，現今有機發光二極體已被普遍使用於延展式電子設備應用。

## 2. 延展式電子設備科技

### (1) 相關領域應用

現今延展式電子設備使傳統顯示器、感應器等產品轉型，其應用包含延展式車用顯示螢幕、生物識別、數位標牌、健康照護、手機設備、及穿戴式設備等。利用延展式塑膠基板製成顯示器及感應器等產品具有可朔性、輕薄、耐用及價格低廉等特性。

### (2) 製程科技

因不同延展式電子設備結構差別，其製程科技也有所異同，其共同特性為電路必須互相通連及為延展式材料。目前較普遍的延展式電子製程方式為薄膜撕去法 (Lifting Off)，將薄矽與可延展式絕緣基底結合，並設計小型積體電路，利用光刻技術 (Photolithography) 將其他非屬電路部分洗去，並結合蝕刻技術 (Etching)，重複相關程序完成設計的電路設計結構。

微電子設備未達到可彎曲及延展等特性，可利用傳統蝕刻製程方式(如圖 3)，其基底必須為可延展式，通常使用聚醯亞胺(Polyimide) 材料。基底先塗上一層 PMMA 薄膜後，再塗上一層聚醯亞胺 (Polyimide)。利用奈米壓模 (Nanoribbons Stamp) 技術，以確定電路部分，隨後，利用光電子束及蝕刻技術確定絕緣體及互相導通電路部分。利用丙酮洗去 PMMA 薄膜孔洞部分，重複壓模方式於非電路部分，當聚醯亞胺 (Polyimide) 層產生應力 (Prestressed)，隨後將可產生延展以達到電子設備延展特性，其電路板上有數個如蛋殼般模型，它可以讓電子設備延展同時不會破壞設備。

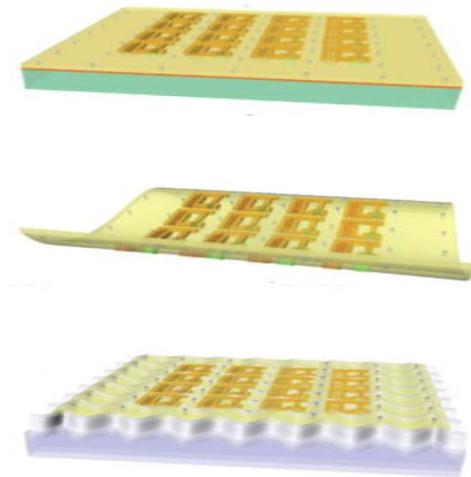


圖 3: 傳統蝕刻製程方式

另一種用以製作小尺寸延展式電路方法為利用沉積 (Deposit) 方式 (如圖 4), 將一層矽薄膜沉積於延展式聚合物基底上 (Flexible Polymer Substrate), 延展式電路可以利用許多方式製程, 如同前述方式基底可以在沉積步驟前預先施與應力 (Prestressed), 當基底延展時會使形狀如波浪般。除外, 亦可利用陰影光蝕科技 (Shadow Lithography) 使基底產生波浪狀形狀, 當基底展延時能使基底電路不被破壞。前述方式皆為使用硬體矽電路元素與延展式通道結合。如下圖分為波浪狀、施與應力、及展延後基底圖示。

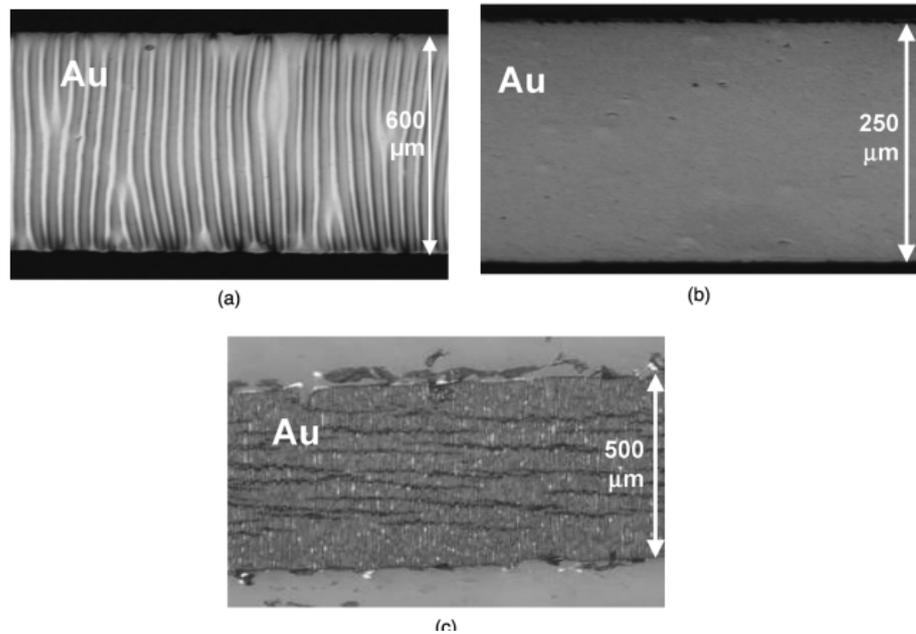


圖 4: 沉積方式製程方式

另一種製程方式較常用於有機電伏 (Organic Photovoltaics) 為滾輪式製程 (Roll to Roll Processing) (如圖 5)，這個製程可用於製造大面積電路，其具有成本低廉、製程快速等特色。現今許多傳統製程方式逐漸結合滾輪式製程，包含蝕刻及化學沉積法等。目前精密狹縫沉積法 (Slot Die Deposition) 已廣泛結合滾輪式製程，利用液體或懸浮液注入緊鄰基板表面的窄縫，奈米顆粒 (Nanoparticle) 懸浮液通常用於這些裝置中的電子傳輸層，其中矽或銀奈米顆粒可以通過狹縫壓鑄來沉積，從而使滾輪式製程可以大面積製造。其產品特色為輕薄且均勻。

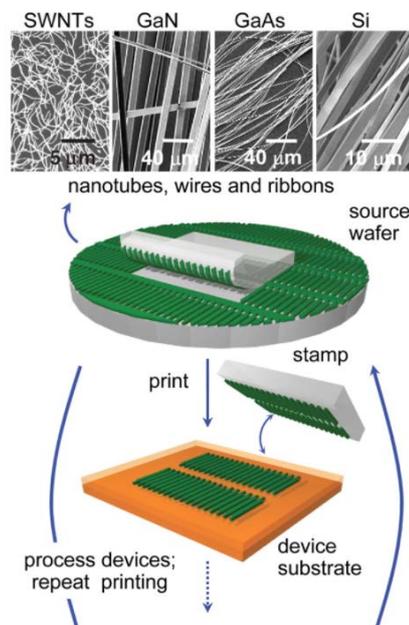


圖 5: 滾輪式製程方式

### (3)技術限制

近來我們一直聽聞延展式顯示器問世，科技展經常展出多種折疊或可捲曲的 LED 面板，惟相關產品於市面上銷售仍需一段時間。延展式顯示器問世促使製程的變革，許多不同的材料 如半導體，導體，絕緣體，屏障，基板，皆須將它們結合成一個非常薄的薄膜，如果更換一個材料，則可能需要更改許多其他材料以使所有內容兼容。

傳統上，電子電路是使用諸如矽等剛性非延展式材料製成的。矽晶片不是用於製造電子設備的唯一材料。諸如金 (Au) 和氧化銦錫 (ITO) 的無機材料亦廣泛用於電子電路中作為導體。例如，ITO 導體是透明

的，允許互連在顯示器的發光層的前面或後面，使用上不會互相干擾。兩種類型的導體在奈米級較為脆弱，因此易於開裂。上述材料的最大拉伸破壞應變如表 1。常用導體材料在失效前僅承受約 1% 的拉伸應變，其實際上為沒有完全失效的拉伸，彎曲或扭曲的能力。傳統電子和延展式電子設備於製程上有著顯著的差別(如表 2)，延展式電子設備具有製程快速、輕薄、具延展性、耐用、防震及製程較短等特色，惟製作過程材料的相容性及限制仍是目前無法商業化主要原因。

材料 (Material)	最大變形承受值 (Maximum Failure Strain)
金 (Au)	~1%
氧化銦錫 (ITO)	~1%
矽 (Si)	~4%

表 1: 材料最大拉伸破壞應變

	傳統式電子設備	延展式電子設備
製程速度	0.1 m <sup>2</sup> /s	60 m <sup>2</sup> /s
重量	較重	大量減少
強度	堅硬	可延展、耐用、防震
製作過程	製程複雜	製程較短
發展	普及	未商業化

表 2: 傳統電子和延展式電子產品比較

延展式電子設備為一個良好的例子，圖 6 顯示由於層彎曲產生的最大應變。層中的最大拉伸應變為半圓，半徑為 10mm。最大拉伸高於傳統電子材料的失效應變。

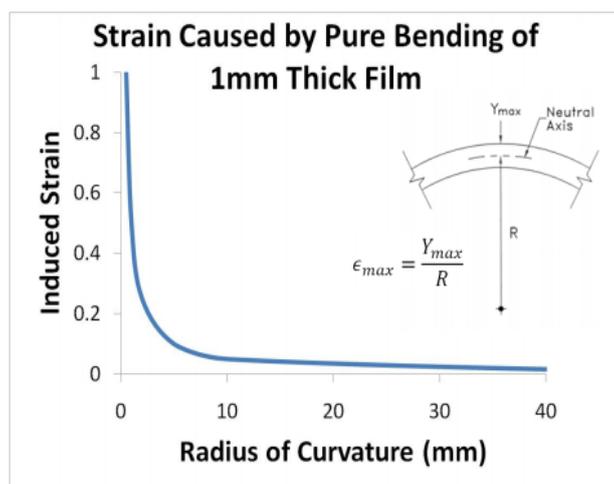


圖 6: 延展式電子最大應變

### a. 新製程技術面臨的挑戰

微電子製造設備存在兩個問題，這些問題阻礙延展式電子設備製造的能力。首先，這些設施是針對某些矽片尺寸設計的 - 通常小於延展式電子設備所需的尺寸且通常無法擴展到大面積區域。其次，製造技術通常在薄膜沉積期間使用高溫，這些高溫不適用於延展式電子設備中使用的多數有機材料。

多數延展式電路採用延展式佳的有機材料，例如聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）和聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）。與矽和金等元素相比，這些有機材料的熔化溫度通常較低，傳統的製造方法溫度可以高達 600 °C。因此，傳統的沉積方法不能用於製造延展式電子設備的有機材料的薄膜。

現今，滾輪式（Roll to Roll）印刷製程為延展式電子設備的主要發展目標。可延展材料被放置在類似於報紙印刷機的設備中。電子設備的功能層可以被捲起並壓在一起製成延展式電子設備。這種高速度及高效率的技術可以大幅降低成本，成本降低可使延展式電子設備比傳統的剛性電子設備更為便宜。儘管還沒有全面商業化滾輪式印刷，但低成本延展式電子產品的前景已經成為推動新興領域的研究市場。

### b. 延展式設備可靠性的挑戰

為使延展式電子設備優於傳統的剛性電子設備，必須以降低延展式顯示器的成本且能達到類似或優於傳統設備的性能，近來延展式顯示器使用有機發光二極體（OLED）代替傳統的 LCD 或離子屏幕。通過測量顯示器對比度，亮度和效率，OLED 性均能優於傳統的 LCD。然而，實驗證明當沒有充分阻隔層隔離水蒸氣和氧氣接觸時 OLED 會因而腐蝕。圖 7 顯示了在暴露於空氣中數小時後在兩面塗有薄的 ITO 阻擋層的 OLED 中發生的腐蝕斑點。隨著斑點的增長，OLED 的發光減少，直到被認為無法使用。

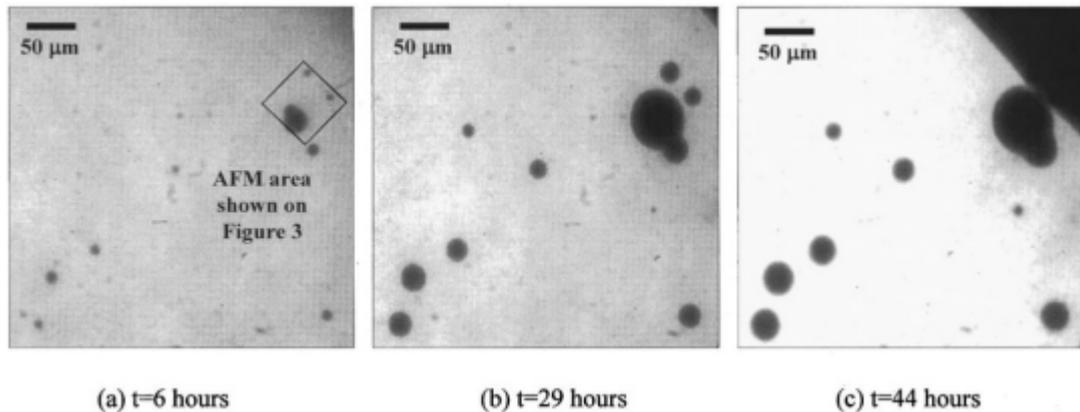


圖 7: 有機發光二極體於空氣中腐蝕情形

傳統上，整個電路可以封裝在剛性玻璃或陶瓷塗層中，然而，剛性塗層卻抑制了設備延展性。因此，為了製造延展式有機發光二極體 (FOLED)，有利的是形成不透水蒸氣但具有延展性的阻擋層。相關材料如 PET 和 PMMA 等有機材料以及較薄的(約 10nm)無機物如氧化鋁( $AlO_x$ ) 和 ITO 等材料水氣皆無法穿透，它們可用於製造 FOLED 水氣阻擋層。另一方面，塊狀無機材料雖然不透水氣及氧氣但其延展式不佳，其可以用來製造傳統的 OLED 並可以使用多年而不會失去功能性。上述說明了與阻擋層技術相關的困難以及對 FOLED 中阻擋層的需求，其中需要克服與延展式薄膜阻擋層性能的可靠性。

### 3. 未來科技

#### (1) 延展式太陽能電池

延展式太陽能電池研究是一項研究級技術，其中在麻省理工學院的一項研究中，太陽能電池可以使用化學氣相沉積技術將光伏材料沉積在延展式基板（如普通紙）上製造的。在紙上製造太陽能電池的技術是由該院在國家科學基金會的研究人員- 麻省理工學院聯盟太陽能前沿計劃的支持下開發的。

有機光伏材料的電路在真空室中以五層沉積在普通紙基材上。它通過用氧化化學氣體塗覆導電聚合物電極來完成，該過程稱為化學氣相沉積。這種太陽能電池板能夠產生超過 50V 的電壓，可以在正常照明條件下為電器設施供電，太陽能電池也顯示出其延展式。

在傳統的太陽能電池板中，面板的支撐結構如玻璃，支架等的成

本大多是在其上製造的光伏材料的兩倍。由於紙張成本約為玻璃的千分之一，使用印刷技術的太陽能電池比傳統太陽能電池板便宜許多。另外，涉及用材料塗佈紙的其它方法包含用光滑材料塗佈紙以抵消紙的分子尺度粗糙度，此方法中光伏材料可以直接塗在未經處理的紙上。

延展式太陽能電池如能達到穩定技術成熟度，將可廣泛用於牆紙和窗簾，從室內照明產生電力。此外，相關技術也可以在服裝上製造，而服裝又可以用於移動電話和媒體播放器等便攜式電子設備充電。延展式太陽能模塊也可用於彎曲屋頂或屋頂。

## (2) 延展式手機及電視

延展式電子設備顯示幕具有可彎曲、變形、彈性、輕盈、製成迅速及不同於傳統製程等特色，其延展電路組成蓋可分為基底 (Substrate)、後板 (Back Plane)、前板 (Front Plane) 等組件。延展式顯示器是一種具彈性及摺疊性的電子視覺顯示器；近年來，許多消費電子製造商越來越關注將該顯示技術應用於電子閱讀器、智慧型手機和其他消費電子產品中。

## (3) 有機發光二極體

延展式有機發光二極體 (FOLED) 是一種有機發光二極體 (OLED)，其結合延展式塑料基板，利用發光有機半導體沉積在延展式塑料基板上。因塑料基板具有延展性，這使設備能在操作中彎曲或捲起。目前，工業和學術團體的研究重點是，延展式 OLED 形成一種製造可卷式顯示器的方法。目前技術能使 OLED 有機半導體薄膜在約 100nm 厚的電致發光。常規 OLED 通常在玻璃基板上製造，將基板改成可延展式材料如聚對苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 等塑料替代玻璃，OLED 可以用以製造可彎曲和輕質的電子設備。由於需要晶格匹配和高溫製造工藝，這些材料不適用於無機半導體的類似的設備。

傳統的 OLED 由位於兩個電極之間的有機材料層組成，陽極和陰極都沉積在基板上。由於在部分或全部分子上共軛引起的  $\pi$  電子的離域，有機分子是導電的。這些材料的導電率範圍從絕緣體到導體，因此被認為是有機半導體。有機半導體的最高佔據和最低未佔分子軌道

(HOMO 和 LUMO) 類似於無機半導體的價帶和導帶。

#### a. 未來降低成本

有機發光二極體 (OLED) 可以通過噴墨打印機或通過絲網印刷到任何合適的基板上，使得它們比 LCD 或等離子顯示器更便宜。然而，OLED 基板的製造目前比傳統 LCD 的製造成本更高。使用有機設備的滾輪式製程氣相沉積方法確實可以達到每分鐘大量生產數千個產品，成本最低。然而，這個技術也有許多問題，例如具有多層接連的電路的設備可能難以製造，因滾輪式製程將不同的印刷層排列到所需的精確度仍不如傳統製程。

#### b. 輕質強韌的塑料基材

OLED 顯示器可以在延展式塑料基板上製造，從而可以製造用於其他新應用的延展式有機發光二極體，例如嵌入織物或衣服中的捲起式顯示器。如果可以使用像聚對苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 的基板大量製造，則可以廉價的製造顯示器。此外，與 LCD 裝置中使用的玻璃顯示器不同之處，塑料基板具有防碎效果。

### (4) 皮膚電子感測器

皮膚電子感測器是一種薄的電子材料，以一種或多種方式模仿人體皮膚。具體而言，人體皮膚可以感知壓力和溫度，伸展，並可以自我癒合。電子皮膚旨在將這些功能應用於機器人和健康應用。

由於人體皮膚具有彈性和延展性，因此健康監測設備也需要能夠彎曲和伸展，這就是為什麼延展式電子產品的大部分工作都屬於健康和醫學領域。例如，日本研究人員創造了一種電子皮膚，其中包含印在塑料薄膜上的有機電路。該電子設備作為健康問題的早期預警系統，透過監測配戴者的溫度以及脈搏和血液中的氧濃度以避免突發性疾病的發生。

### 4. 小結

傳統電子材料在變形時造成機械故障對延展性電子設備研發產生重大的意義，傳統的製造技術不適用於延展式電子產品。延展式電子設備具有製程快速、輕薄、具延展性、耐用、防震及製程較短等特色，惟製作過程材料的相容性及限制仍是目前無法商業化主要原因。目前新的製

造方法，利用延展性材料和低工作溫度製程，大面積製作延展式電子設備。延展式電子材料應用及製程方式等研究仍持續不斷推陳出新，未來需要開發低成本，大面積，低溫製造且高效率方法以解決延展式電子產品生產的機械限制。

### (三)微電子研究中心

本校微電子研究中心係為各領域針對半導體物質、設備及應用等研究設立。主要目的為讓相關研究領域人員共同研究及合作並追求精進半導體電子及光子科技。本中心設立於 1984 年，著重於光伏(photovoltaics)、有機電子(organic electronics)、及光子能階(photonic band gap)等研究。

### (四)圖書館

本校圖書館實體藏書約 280 萬餘冊，電子書籍約 4 萬 6 千餘冊並有多種多媒體類及學術期刊等，課程實體書籍可於圖書館借閱或租借電子版本，本校圖書館並與多校合作發展共同學術資源，例如開放式教材等，讓遠距離學生或其他學者可以透過網路使用本校學術資源。除圖書借閱外，圖書館並設有國際學生交流區，讓學生可以互相交流及分享文化，圖書館職員也會定期舉辦相關學術課程，以淺顯易懂的方式教學，讓有興趣或想學習相關課程的學生可以對該課程有基礎了解，進而決定是否繼續精進。

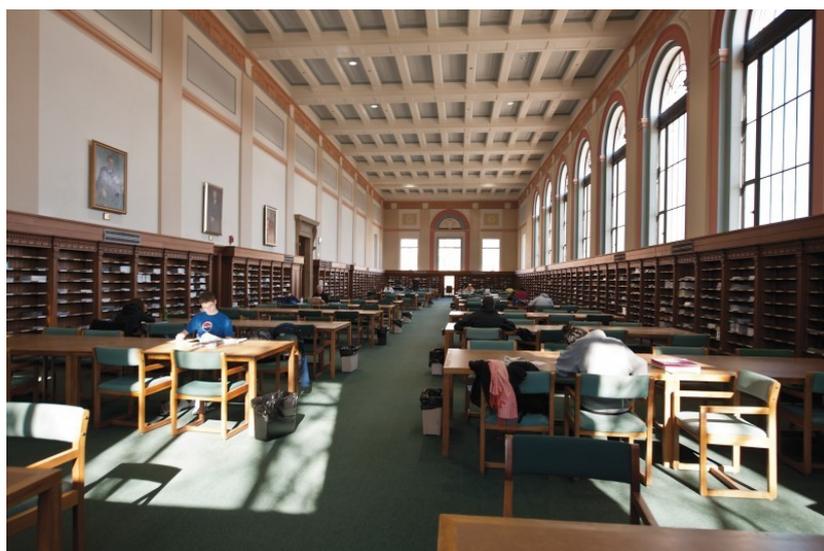


圖 8: 愛荷華州立大學圖書館期刊室



圖 9: 愛荷華州立大學圖書館數位資源

#### (五)國際學生辦公室

本校國際學生辦公室係針對國際學生設立辦公室，學生簽證辦理、新生教育訓練、學程需求、課程輔導等皆可透過該室諮詢；此外，本校國際學生辦公室定期舉辦各項活動，如英文文化交流、知性之旅、及志工交流等活動，職於在學期間經常參加該室舉辦相關活動，並認識各國文化及語言等。



圖 10: 國際學生辦公室外景

#### (六)學術輔導中心

本中心成立目的係提供課程精進或需加強課程輔導學生學術資源，藉由已修過相關課程學生擔任講師，以輔導有需求的學生，該中心定期舉辦相關課程，如整理筆記、考試準備、期程規劃、課程發表等技巧，精進學生學術表現。



圖 11:學術輔導中心外景

## 參、心得與建議

### 一、研究精神

在學期間研究所以上課程，多數都需要做專題報告，相關報告主題因課程規劃有所差異，除基本課程規劃，如作業、小考、期中(末)考等，於學期末時皆會由學生依課程主題實施報告，同學均於課堂上踴躍向教授詢問專題報告相關問題，更利用課餘時間至圖書館找尋相關資料並致力於研究。

### 二、表達能力

在美學習期間，本校電子電機系研究所以上課程通常為專業課程的進階版，許多研究領域仍在發展中，但在學習過程中可以發現同學除了基礎課程外，對其他仍在發展或實驗階段的研究可以侃侃而談，對其展望及未來發展充滿肯定及信心。

### 三、團隊合作

研究所學生在學習過程中常會分組完成專題或實驗，課程過程中經常需利用課餘時間討論專題報告及分工合作完成作業，大部分作業或專題為開放式問題，同組學生常需利用課餘時間搜尋資料並共同完成作業。

### 四、文化差異

學習過程中，感受最深的莫過於文化上的差異，建立於互相尊重及相互了解的基礎下認識更多來自世界各地的文化及同學，彼此互通有無各施其長讓專題完成更加多元及創新。

## 肆、參考資料

一、MECHANICS CHALLENGES AND SOLUTIONS IN FLEXIBLE ELECTRONICS Matthew Brody Tucker, Master of Science, University of Maryland, 2009.

二、T. Ando, M. Shikida, and K. Sato, "Tensile-mode fatigue testing of silicon films as structural materials for MEMS," Sensors and Actuators A: Physical, vol. 93, Aug. 2001, pp. 70-75.

三、P.C. Bouten, P.J. Slikkerveer, and Y. Leterrier, "Mechanics of ITO on plastic substrates for flexible electronics," Flexible Flat Panel Displays, G.P. Crawford, ed., John Wiley and Sons, 2005, pp. 99-120.

四、T. King and K. Saraswat, "Low-temperature ( $< 550^{\circ}\text{C}$ ) fabrication of poly-Si thin-film transistors," Electron Device Letters, IEEE, vol. 13, 1992, pp. 309- 311.

五、M.A. Haque, M.T.A. Saif, and J.D. Achenbach, "Deformation Mechanisms in Free-Standing Nanoscale Thin Films: A Quantitative in situ Transmission Electron Microscope Study," Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 101, Apr. 2004, pp. 6335-6340.

六、D. Kolosov, D.S. English, V. Bulovic, P.F. Barbara, S.R. Forrest, and M.E. Thompson, "Direct observation of structural changes in organic light emitting devices during degradation," Journal of Applied Physics, vol. 90, Oct. 2001, pp. 3242-3247.

七、B.D. Vogt, H. Lee, V.M. Prabhu, D.M. DeLongchamp, E.K. Lin, W. Wu, and S.K. Satija, "X-ray and neutron reflectivity measurements of moisture transport through model multilayered barrier films for flexible displays," Journal of Applied Physics, vol. 97, Jun. 2005, pp. 114509-7.

八、"Flexible Solar Panels: Printing Photovoltaic Cells on Paper" green-buildings.com. Retrieved 2011- 09-09.

九、Barr, Miles C.; Rowehl, Jill A.; Lunt, Richard R.; Xu, Jingjing; Wang, Annie; Boyce, hristopher M.; Gap Im, Sung; Bulović, Vladimir; Gleason, Karen K. (16 August 2011). "Direct Monolithic Integration of Organic Photovoltaic

Circuits on Unmodified Paper". *Advanced Materials*.

十、"While you're up, print me a solar cell - New MIT-developed materials make it possible to produce photovoltaic cells on paper or fabric, "nearly as simply" as printing a document". *MIT News*. Retrieved 2011-09-09.

十一、Gustafsson, G.; Cao, Y.; Treacy, G. M.; Klavetter, F.; Colaneri, N.; Heeger, A. J. (1992). "Flexible light emitting diodes made from soluble conducting polymers".

十二、MacDonald, W. A. (2004). "Engineered films for display technologies". *Journal of Materials Chemistry*.

十三、Burrows, P. E.; Gu, G.; Bulovic, V.; Shen, Z.; Forrest, S. R.; Thompson, M. E. (1997). "Achieving full-color organic light-emitting devices for lightweight, flat-panel displays". *IEEE Transactions on Electron Devices*.

十四、Hebner, T. R.; Wu, C. C.; Marcy, D.; Lu, M. H.; Sturm, J. C. (1998). "Ink-jet printing of doped polymers for organic light emitting devices". *Applied Physics Letters*.

十五、Bharathan, Jayesh; Yang, Yang (1998). "Polymer electroluminescent devices processed by inkjet printing: I. Polymer light-emitting logo". *Applied Physics Letters*.

十六、Brandon Bailey (31 January 2011). "Flexible electronic display will get Army field test". *Los Angeles Times*. Retrieved 3 February 2011.

十七、Chiang, C.-J.; Winscom, C.; Monkman, A. (2010). "Electroluminescence characterization of FOLED devices under two type of external stresses caused by bending". *Organic Electronics*. 11: 1870 - 1875.

十八、Hsueh, C. H. (2002). "Thermal stresses in elastic multilayer systems". *Thin Solid Films*. 418: 182 - 188. Bibcode:2002TSF...418..182H.

十九、Chiang, C.-J.; Winscom, C.; Bull, S.; Monkman, A. (2009). "Mechanical modeling of flexible OLED devices". *Organic Electronics*. 10: 1268 - 1274.

## 伍、附件

附件 1……畢業證書 .....	23
附件 2……國際學生辦公室證書 .....	24
附件 3……學習及校園照片 .....	25
附件 4……意見處理表 .....	28

**IOWA STATE UNIVERSITY**  
OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

hereby confers upon

**TZU-LUNG CHANG**

— the degree —

**MASTER OF ENGINEERING**

Majors in Electrical Engineering

and

Computer Engineering

with all the Honors and Distinctions belonging to this Degree in consideration  
of the satisfactory completion for the Course of Study prescribed in

**THE GRADUATE COLLEGE**

Given at Ames, Iowa, two thousand and nineteen.



*Michael D. Phillips*

President, Board of Regents, State of Iowa

*Wally Winterton*

President, Iowa State University

附件 1. 畢業證書



INTERNATIONAL STUDENTS AND SCHOLARS OFFICE

# CERTIFICATE OF CONGRATULATION

is hereby presented to

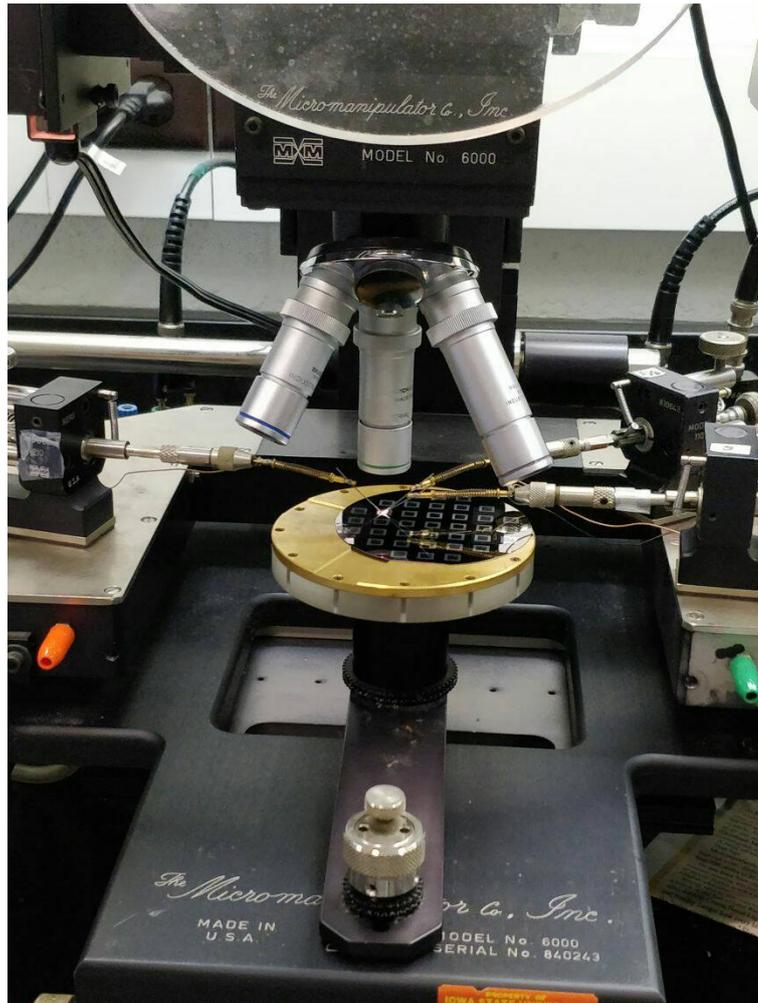
**Tzulung Chang**

In recognition of completion of studies at  
Iowa State University of Science and Technology

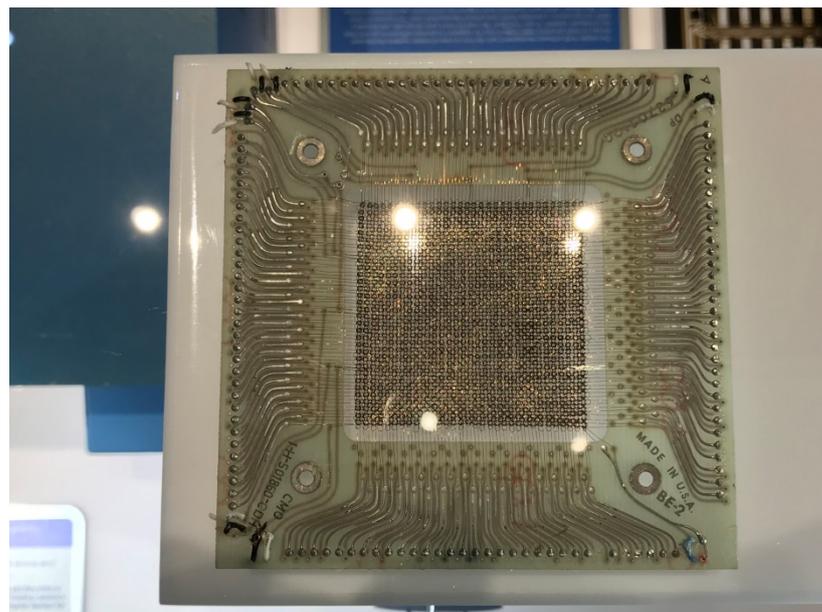
Presented on June 10th, 2019

**Dr. Vernon Hurte**  
**Dean of Students**

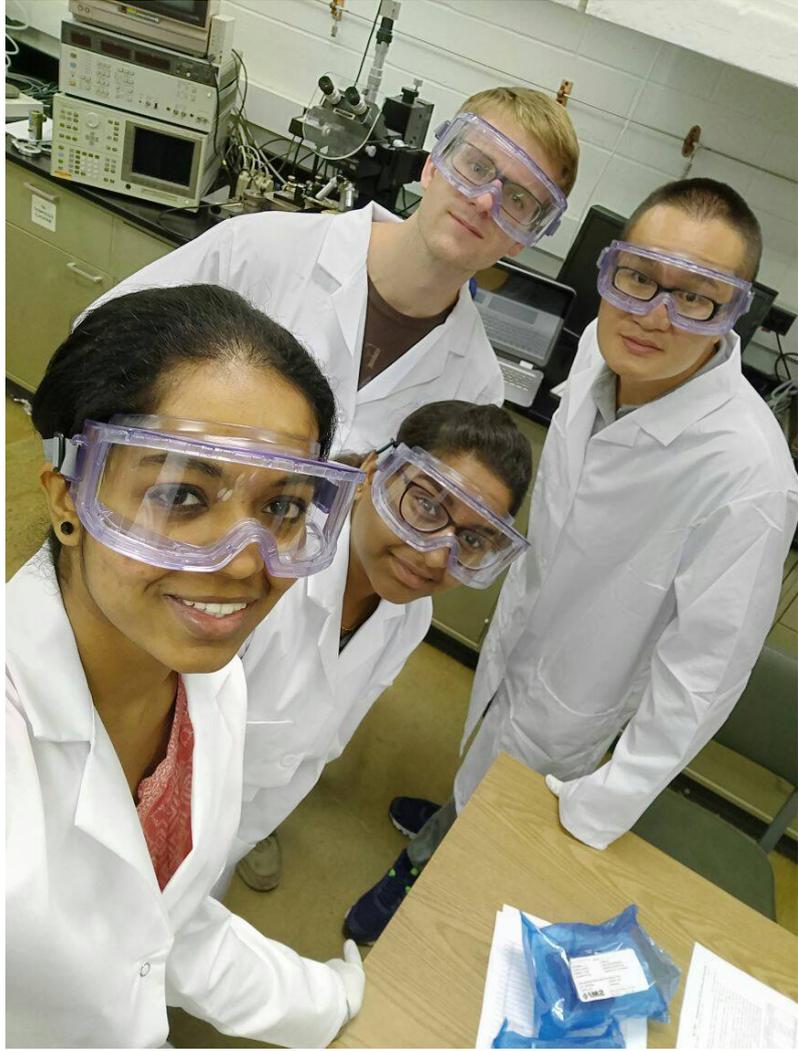
附件 2. 國際學生辦公室證書



附件 3-1. 實驗室測試晶片製作成果



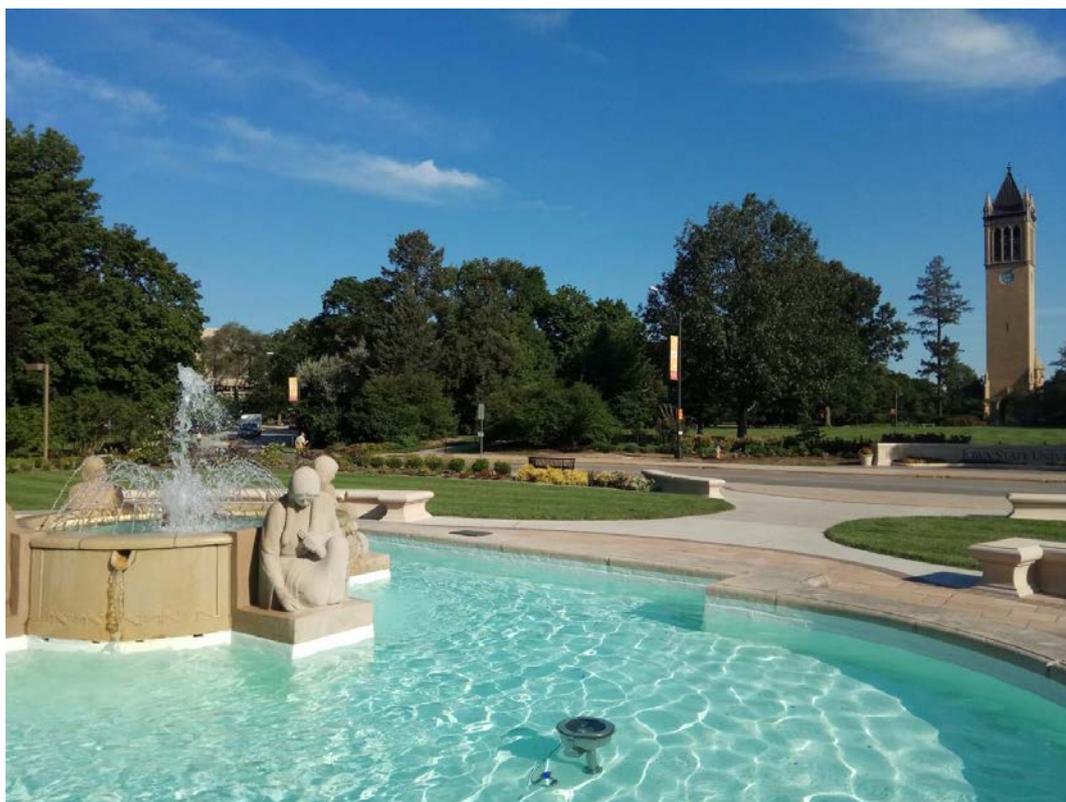
附件 3-2. 晶片及電路放大圖



附件 3-3. 實驗室小組人員合影



附件 3-4. 校園環境



附件 3-5. 校園環境



附件 3-6. 圖書館外景

附件 4. 意見處理表

國防部軍備局生產製造中心第四 0 一廠出國報告建議事項處理表			
報告名稱	赴美國愛荷華州立大學進修電子工程碩士心得報告		
出國單位	軍備局生製中心 第四 0 一廠	出國人員級職/姓名	上尉 張子龍
地點	美國	出/返國日期	106.08.07/108.06.11
建議事項	<p>愛荷華州立大學在農業、工程，推廣和家政居於領先地位，是世界上第一台電子計算機阿塔納所夫-貝瑞計算機誕生地，本校在科學及工程等學系具悠久歷史及卓越貢獻，職於本次進修除對專業課程有更進一步認知，更對美國中西部文化增長見聞，本次進修期間完成電機系及電子系工程碩士學位，學習過程領悟到未來科技發展仍有許多展望及進步空間，建議後進的學弟妹除了電機、電子學系外，可以另外考慮本校材料科學、機械工程等相關科系，以學習材料及機械相關專業知識，提升本廠技術能量。</p>		
處理意見	<p>本廠派遣出國進修人員均以結合國防發展及生產任務為目標，後續將持恆依實需規劃人才進修員額及專長，俾利提升本廠人員專業學識素養，厚植我國防能量。</p>		

### 出國報告審核表

出國報告名稱：赴美國愛荷華州立大學進修電子工程碩士心得報告

出國人姓名	職稱	服務單位
張子龍	上尉測量官	國防部軍備局生產製造中心第四〇一廠

出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input checked="" type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)
------	--

出國期間：106年8月7日至108年6月11日	報告繳交日期：108年9月25日
-------------------------	------------------

出國人員自我檢核	計畫主辦機關審核	審核項目
----------	----------	------

<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4.內容充實完備
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5.建議具參考價值
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	7.送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正，原因：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用其他資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他_____
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式：(報告內容不涉機密及機敏，同意刊登資訊網)

敬會：保防官  
 經查內容述及進修課程及心得，  
 未提及軍事業務，無附加意見。  
 四〇一廠 鍾有顯  
 10809301600

出國人簽章(2人以上，得以1人為代表)	計畫主辦機關審核人	一級單位主管簽章(中心長或副廠長)	機關首長或其授權人員簽章(廠長)
---------------------	-----------	-------------------	------------------

四〇一廠 張子龍  
 測量官  
 10809301600

四〇一廠 劉光泰  
 總工程師  
 10809301530

四〇一廠 黃俊豪  
 廠長  
 10810011320