

出國報告(出國類別:進修)

美國華盛頓大學  
碩士進修報告

服務機關：國防大學理工學院

姓名職稱：林育靖上尉

派赴國家：美國

出國期間：110年9月13日至112年3月17日

報告日期：112年4月10日

# 摘要

職於民國 110 年 9 月 13 日赴美國進修華盛頓大學化學系碩士班(Master in applied chemical science and technology)，此進修目的在於培養國防大學理工學院化學及材料工程學系領域師資，充實本院化學及材料工程學系領域師資教育研究能量。職於 112 年 3 月 17 日學成返國並歸建報到。

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」相關規定撰擬內容概分為:目的、過程、心得及建議、參考資料等項次做介紹，旨在提報個人進修經驗與所見所聞，以供日後赴美進修人員做參考及國內外大專院校相關行政與教學人員參考運用。

# 目次

摘要.....	i
目次.....	i i
壹、目的.....	1
貳、進修過程.....	2
一、學校介紹.....	2
二、系所介紹.....	4
三、實驗研究介紹.....	5
參、心得建議.....	7
肆、參考資料.....	9

# 壹、目的

依據民國 110 年 9 月 2 日國人培育字第 1100196760 號令核定，職於 110 年 9 月 13 日赴美國華盛頓大學化學系攻讀碩士，進修期限 2 年，由於第一學季受 covid-19 疫情影響，於台灣實施遠距教學，並於第二學季秋季班開學前抵達美國實體上課，第三學季冬季班由於 omicron 變種病毒影響，在宿舍採視訊上課進行，於第四學季春季班後再度恢復實體課程。職於 112 年 3 月 17 日完成所有畢業學分要求返國歸建。此進修目的為充實本院化學及材料工程學系領域師資教育研究能量，將國外進修期間所學之研究方法及教學理念傳授給國防大學理工學院的學生們，為國軍培育更多優秀之化學科技人才。

本篇報告係依據「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，旨在提報個人進修經驗與所見所聞，以提供日後國內外大專院校相關行政與教學人員參考運用。

## 貳、進修過程

### 一、學校介紹

華盛頓大學（University of Washington，縮寫為 UW），創建於 1861 年，位於美國華盛頓州西雅圖，是一所美國西岸設立最早的公立研究型大學之一，也是美國西北部最大的大學之一。華盛頓大學目前擁有 16 個學院，提供超過 370 個本科和研究生專業領域的課程，被譽為公立常春藤。該校主校區佔地 2.84 平方公里，主校區位於普吉特海灣北方，並在西雅圖周邊的 Bothell 和 Tacoma 設有分校區。UW 的校園位於西雅圖市中心以北，鄰近 Lake Union 和 Puget Sound，周邊景色優美，湖光山色，風景如畫。此外，煤氣廠公園、聯合湖公園、綠湖公園和瑪格努森公園等優美的公園也位於 UW 周邊。此外，華盛頓州內的三個國家公園——雷尼爾山國家公園、北喀斯特喀國家公園和奧林匹亞國家公園——也為學生和教職員提供了戶外休閒娛樂的場所。UW 的校園內還設有許多運動場所，如健身房、室內外籃球場、排球場和網球場，供學生和教職員進行運動和放鬆。西雅圖市也是一個充滿活力和創意的城市，是全球科技、音樂和藝術產業的重要中心之一。西雅圖市有著許多世界知名企業的總部，如亞馬遜公司、微軟公司等，這些企業為 UW 的學生提供豐富的實習和就業機會。此外，西雅圖市還有許多博物館、藝術中心和音樂場所，如西雅圖藝術博物館和西雅圖交響樂團等，學生可以在校外享受豐富多彩的文化生活。



華盛頓大學雪景

華盛頓大學座落於西雅圖市中心附近，交通便利，提供公車、水上計程車、輕軌等 U-PASS 服務，學生可輕鬆通勤。根據官網，目前全校約有 50,000 名學生，每年授予超過一萬兩千個學士、碩士和博士學位。該校於 2022 年 US News 世界大學排名中位列第 7 位，享有廣泛的學術成就和社會聲望。華盛頓大學共

有 21 位校友和教職員獲得諾貝爾獎，因其卓越的教學和研究聞名世界，涵蓋工程、科學、教育、人文、法學、社會科學和經濟學等多個學術領域。華盛頓大學在研究方面極具優勢，每年吸引大量的科研資金，並在各領域發表許多研究論文。在科學研究中，該校的氣候學、地球科學、生物醫學和能源科學等領域均處於世界領先地位。此外，該校在人工智能、機器學習和大數據等科技領域也具有重要影響力。華盛頓大學以其強大的研究實力和卓越的教學質量吸引了來自世界各地的優秀學生，包括大量來自台灣、中國、韓國、日本和印度等國家的留學生。此外，該校為學生提供了豐富的學術和社交資源，包括多樣化的學生組織、社團和文化活動，讓學生有機會接觸不同的文化，體驗多元化的學術和社交生活。總體來說，華盛頓大學是一所擁有豐富學術資源和全球影響力的頂尖大學。



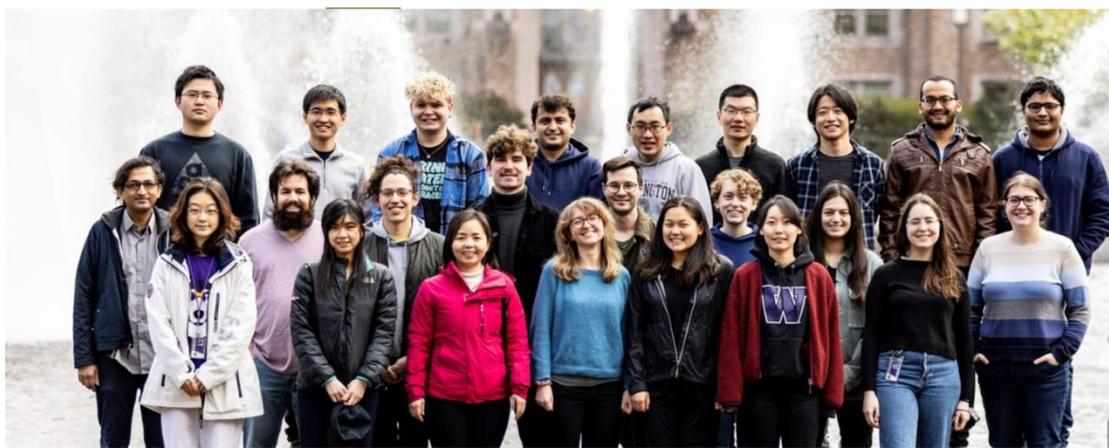
校園紅場(red square)

## 二、系所介紹

華盛頓大學化學系位於校區噴水池(Drumheller Fountain)旁的 Bagley hall 及 chemistry building，2022 年 US News 化學專業排名第 24 位居全球前列為全球頂尖的化學研究學府之一，是眾多學生的夢想之地。該系成立於 1907 年。擁有傑出的教學團隊和世界級的科學家，目前約有教授、副教授及助理教授共計 47 位，致力於培養未來的化學家和推進前沿化學研究。該系在有機化學、生物化學和分析化學方面擁有特別強大的實力，在這些領域內的研究成果在國際上享有極高的聲譽。化學系的教授們還積極參與跨學科的研究，如材料科學、能源科學和生物醫學等領域，並且擁有各種尖端的研究設施和儀器。華盛頓大學化學系的教學也非常重要，該系的本科生課程和研究生課程都很嚴格，並且設有豐富的選修課程。該系教學團隊中有多位獲得過頂級獎項的傑出教授，如諾貝爾化學獎得主馬丁·卡普蘭（Martin Karplus）和理查德·斯蒂文斯（Richard R. Ernst）等。此外，華盛頓大學化學系還設有豐富的研究生培訓計劃，包括博士後培訓計劃、實驗室研究和申請獎學金等。這些計劃不僅提供了專業的科學研究環境，還為學生提供了良好的職業發展前景。

該系於 2021 年開設碩士班學位(Master in applied chemical science and technology)，畢業門檻須修得 6 門 3 學分核心課程及 2 門 3 學分選修課程，課程既有分析電化學、化學分離技術、原子與分子光譜、量子力學、數據電腦化學、電子動力學、分析化學中的微流體、奈米材料化學與工程、聚合物化學、清潔能源數據分析等多達約 30 種課程可自由選擇，另須參加 3 門 1 學分研討會課程，可自由選擇普通化學、有機化學、無機化學、物理化學、分析化學、生物化學等多方領域聽講來自不同美國頂尖優秀大學教授研究領域，開拓視野及增廣專業知識，本碩士學位提供大學生可於大四申請碩士學位，縮短拿到碩士學位所需學費及時間，亦提供碩士於第二年可直接申請攻讀博士學位。

## The Ginger Lab

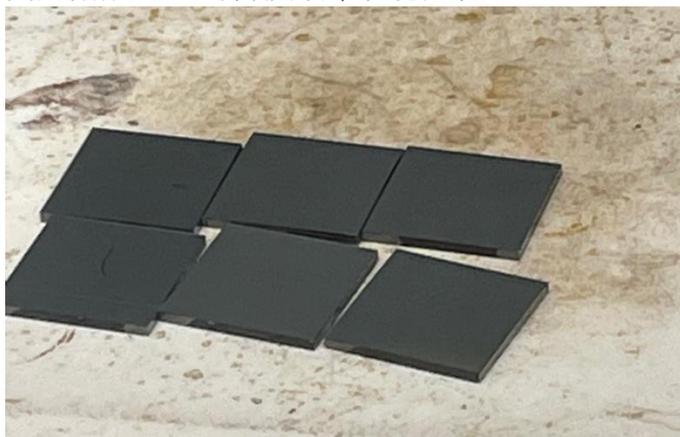


實驗室合影

### 三、實驗研究介紹

職於修業期間加入華盛頓大學清潔能源學院（clean energy institute），該學院成立於 2006 年，是一所專門從事清潔能源相關研究和教育的機構。學院旨在透過教育和研究推動清潔能源技術的發展和應用，以實現全球清潔能源轉型的目標。華盛頓大學清潔能源學院的研究方向涵蓋了許多清潔能源領域，包括太陽能、風能、生物能、地熱能、海洋能等。學院的研究人員致力於開發新的清潔能源技術和解決現有清潔能源技術所面臨的問題。例如，他們研究如何提高太陽能電池的效率、如何降低風能發電的成本、如何在不影響食品生產的情況下生產生物質燃料等等。華盛頓大學清潔能源學院的教育項目包括本科、研究生和博士課程。學院的本科課程涵蓋了清潔能源的基礎知識和實踐應用，學生可以學習太陽能、風能、生物能等各種清潔能源技術。研究生課程則更加深入，涵蓋了更廣泛的清潔能源領域，例如能源系統分析、清潔能源政策和經濟學、能源儲存等。學院還提供博士課程，旨在培養清潔能源領域的專家和研究人員。除了教育和研究外，華盛頓大學清潔能源學院還積極與政府、產業界和社區進行合作，以實現清潔能源技術的應用和推廣。學院與多家企業和機構合作，開展了多項清潔能源項目，例如建設太陽能發電站、改進風力發電技術等。

職所加入的實驗室指導教授為 David Ginger，為華盛頓大學化學系物理化學授課教授，亦為華盛頓大學清潔能源學院首席科學家，研究領域計有掃描探針顯微鏡、太陽能及電子材料、等離子體及奈米光學材料、仿生材料與傳感等四大研究方向，實驗室除指導教授 David Ginger 外，組內人員有研究科學家 Rajiv、博士後研究員約 7 員及博士生約 15 員、碩士及大學生約 6 員。職實驗室指導者為博士後研究員 Kevin Ho 及博士生 YangWei Shi，主要學習如何使用手套箱、旋塗機、蒸發器等製作器件，研究混合陽離子混合鹵化物寬帶隙鈣鈦礦的鈍化，旨在提高鈣鈦礦的光致發光量子效率並利用太陽模擬器測得開路電壓、填充因子、電流等計算出電能轉換效率。研究通過設計與合成新的鈣鈦礦化合物來提高太陽能電池的轉換效率和穩定性。



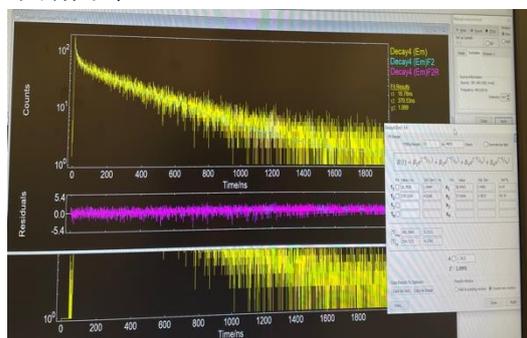
鈣鈦礦薄膜（手套箱內）

太陽能鈣鈦礦是一種新興的太陽能電池材料，也被稱為「第三代太陽能電池」。相較於傳統的矽太陽能電池，太陽能鈣鈦礦具有較高的轉換效率、更低的成本和更多應用的潛力，因此被視為未來太陽能發電的主要發展方向之一。

相對於其他太陽能電池材料的優勢之一是它們對缺陷的耐受性。缺陷會抑制自由載流子傳輸導致鈣鈦礦太陽能電池中的電荷載流子擴散長度長，非輻射複合率低。鈣鈦礦它的電子結構特殊，且有良好的光吸收性能和較高的光電轉換效率，可以有效地將陽光轉化為電能，同時也還可以在低光照條件下工作。太陽能鈣鈦礦的製造過程相對簡單，需要的材料和製造成本也較低。太陽能鈣鈦礦電池的轉換效率已經在不斷提高，目前最高可達到 25% 以上。此外，太陽能鈣鈦礦電池的光譜響應範圍廣，可吸收可見光和紫外線等更廣泛的光譜，而非只能吸收可見光如傳統太陽能電池。然而，太陽能鈣鈦礦還存在一些問題，例如其穩定性和耐用性還需要更進一步的提高，以確保其長期使用的效果。此外，太陽能鈣鈦礦還需要更多的研究和投資，以實現大規模商業化應用。由於其易加工性和高效率而成為太陽能電池應用中最有前途的材料。

鹵化物鈣鈦礦有較長的載流子壽命，壽命是空間相關的，晶粒和晶界表現出不同水平的非輻射複合，因此具有不同的載流子動態。實驗中，我們使用強度調製掃描開爾文探針顯微鏡 (IM-SKPM) 在數十納秒時間尺度直接成像載流子動態，具有約 80-100 納米的高空間分辨率。應用開爾文探針顯微鏡 (IM-SKPM) 研究具有不同鹵化物組成的鈣鈦礦  $\text{FA}_{0.83}\text{Cs}_{0.17}\text{Pb}(\text{Br}_{1-x}\text{I}_x)_3$ 。在晶界觀察到 IM-SKPM 的載流子壽命較低，這表明晶界非良性的且會導致更高的載流子捕獲。此外，我們使用 IM-SKPM 研究表面鈍化劑如何影響載流子壽命的分佈。鈣鈦礦用 (3-氨基丙基) 三乙氧基矽烷 (APTMS) 鈍化，這使我們能夠研究鈍化對載流子動力學局部變化的影響。鈍化後，我們發現 IM-SKPM 壽命因陷阱密度降低而增加。重要的是，這些結果表明 IM-SKPM 可以與光致發光壽命趨勢相關。當鈣鈦礦暴露在光或黑暗中時，由於光激發載流子的遷移，在掃描開爾文探針顯微鏡 IM-SKPM 中測量表面電位會有所不同。在不同頻率下調製激光發射來研究快速充電和捕獲動力學。

這項採用高空間和時間分辨率顯微鏡的研究將更好地理解光激發充電和捕獲動力與寬帶隙鈣鈦礦的晶粒結構和晶界的關係。職於進修期間，協助 Kevin Ho 進行鈣鈦礦樣品製造。在 Kevin Ho 提出的研究項目中，他將尋求使用具有高空間和時間分辨率的原子力顯微鏡模式來了解晶粒結構和晶界如何影響光激發載流子動力學。



鈣鈦礦薄膜致發光譜壽命



使用 IM-SKPM

## 參、心得建議

感謝理工學院提供本次進修機會，能體驗國外大學的學術自由風氣，以及不同的上課方式，是軍旅生涯中難得的機會，也是一生中最難忘的經驗之一。在華盛頓大學的一年半留學期間，不僅學習到了豐富的學術知識，還體驗了西方文化，拓展了自己的人際、視野還有思維。110年9月剛到美國進修時已是COVID-19 疫情趨緩的時候，但華盛頓州政府規定所有人在室內都要戴口罩，到111年1月前後Omicron 變種病毒爆發，造成非常多確診數，華盛頓大學也要求所有人需注射疫苗證明才可以線上修課，並且至各咖啡廳餐廳內用時需要出示疫苗證明方可入內用餐。一直到111年9月秋季班開學才解除戴口罩的政策，並且入用不需要出示疫苗證明，但仍然有些地方如醫院等會要求須配戴口罩。

有別於一年兩個學期18週的學期制度，華盛頓大學採取11週的學季制度，課程十分緊湊，內容沒有因為週數較少而減少，每週都會有作業、實驗報告、或小考要繳交及預備，一學季需修滿3堂課10學分以上方可達到國際學生全日時進修規定，所選修的課程及實驗內容都相當有挑戰性，但也非常有趣，值得花時間去探究。由於有些課程會有討論和小組工作，有機會與世界各地的同學交流，這也讓我深刻體會到了西方的教學模式，學會了如何與他人合作、溝通和交流。此外，華盛頓大學的實驗室裡也提供了豐富的機會，有機會從中學到了許多實用的實驗技能，這些對我的未來學術發展大有裨益。華盛頓大學採滿分GPA4.0 評分制度，每0.1為一個級距。採取學季制度，分為秋冬春夏等四個學季，每學季約有10週加1週期末週，共計約11週，大學修課成績不得低於GPA2.0，研究所修課成績不得低於GPA2.7。評分標準由教授編定，於第一堂課發佈課程大綱及評分標準，通常回家作業佔約30-40%，期末報告佔約10-15%，其中期末考各佔20-30%，每堂課基本上都會有博士生擔任助教，除正課時間，教授及助教均設有office hour 供學生於課後提供問題，在台灣遠距期間使用zoom上課，也會有紀錄影片檔，剛開始還不習慣教授們的語速，可以於課後調慢影片檔的語速，但遠距教學欠缺與同學的互動，實體上課後才有認識同學能相約圖書館一同完成作業，其中最印象深刻的課程是儀器分析課程，不同於大學是每堂課前要預習實驗過程，每週課中操作不同實驗儀器，課後要使用MATLAB 進行數據分析，在短短的十週實驗課學了10種不同的儀器，課堂還有作業、期中期末考及期末報告，非常扎實，收益良多。一門三學分的課基本上是一週三小時，有別於大學時連續排三小時的課程，會分為三次每次一小時或兩次每次一小時半，讓學生有足夠的時間預習和複習，也不至於太過疲乏。留學期間，職在學校的宿舍裡一年，學校的住宿相對外面比較安全、鄰近實驗室及教室、但價錢較高，能與來自世界各地的室友相處，了解了不同國家的文化和生活方式。由於在美國生活開銷十分昂貴，幾乎都要自己準備三餐，凡事都要獨立執行，體驗了有別於軍中不同的生活方式和習慣。華盛頓大學校園的環境十分優美，西雅圖也是個對華人相當友善的城市，非常多亞洲超市，中國城及校園附近也有很多華人餐廳及手搖飲店，但位於市區治安較差，特定區域常有流浪漢或醉漢在街上，輕軌或公車也常有異味，由於槍枝合法化造成槍擊案頻傳，也常收到學校警察局通知槍擊案、搶劫等情事。除了課業實驗以外，運動風氣也很盛行，也會利用課餘時間參加路跑、登山、划船等活動。



至奧林匹克國家公園登山



儀器分析實驗課合影

## 肆、參考資料

1. <https://www.washington.edu/>
2. <https://chem.washington.edu/>
3. <https://www.cei.washington.edu/>
4. <https://depts.washington.edu/gingerlb/>
5. Kim, G.; Petrozza, A. *Adv. Energy Mater.* 2020, 10 (37), 2001959.
6. Schulz, P.; Cahen, D.; Kahn, A. *Chem. Rev.* 2019, 119 (5), 3349–3417.