

2026年

第二十五屆超臨界流體技術應用與發展研討會

摘要集

活動日期、地點



115年10月16日—中山醫學大學誠愛樓9樓第三演講廳

主辦單位

TSCFA

台灣超臨界流體協會



中山醫學大學健康管理學院 健康產業科技管理學系

贊助單位



台超萃取洗淨精機股份有限公司

SAHTECH

財團法人安全衛生技術中心



聯華林德氣體工業股份有限公司



綠茵生技股份有限公司



歐境企業股份有限公司



財團法人金屬工業研究發展中心NPiL



品睿牙醫診所



冷研科技股份有限公司



中平有限公司

目 錄

一、研討會議程.....	3
二、邀請演講(I)游議輝技術長介紹	4
三、邀請演講(II)張元衍教授介紹	5
四、邀請演講(I)賴緒明處長介紹	6
五、邀請演講摘要	
IL 1	9
以碳減碳的綠色製程：超臨界二氧化碳在半導體先進清洗與耗材循環之實踐	
游議輝技術長(衍立光股份有限公司)	
IL 2	10
天然活性物質微脂體遞送於視網膜之保護作用：從分子機制到轉譯應用	
張元衍教授(中山醫學大學教授兼醫學系微免學科主任)	
IL 3	11
天然油脂的劑型應用與產品開發—以沙棘油與肉桂油微囊粉為例	
賴緒明處長(寶泓生醫份有限公司 基礎研發處)	
六、論文摘要	
口頭發表(OP 1~4)	
OP 1	13
Development of Inhalable Niclosamide–Lysozyme Composites with Enhanced Aerosolization and Dissolution by Supercritical Assisted Atomization	
Wei-Lun Chen, Yu-Xuan Huang, Hsien-Tsung Wu*	
OP 2	14
改質 Fe-SBA-15 觸媒應用於尼龍 6 廢纖維水熱液化回收己內醯胺	
黃翔聖 ¹ 、 <u>林靖鏘</u> ¹ 、楊任軒 ^{1*} 、陳錦文 ² 、毛栩毅 ³	
OP 3	14
含水超臨界二氧化碳處理溫度對多孔矽布拉格反射鏡光學特性之影響	
<u>鄭劭文</u> ¹ 、黃捷琳 ¹ 、馮瑞陽 ^{1*} 、連培榮 ² 、邱永和 ³	

OP 4.....	16
Supercritical CO ₂ activation: A green route to high surface area MOF for enhanced hydrogen storage	
<u>Pradnya Paramitha</u> , Ardila Hayu Tiwikrama*	
海報發表(PP 1~PP 8)	
PP 1	19
以超臨界反溶劑技術進行硝酸銨微粒設計之研究	
蘇至善 ^{1,*} 、童煜晟 ¹ 、 <u>謝東憬</u> ¹ 、邱永和 ²	
PP 2	20
以超臨界溶劑共結晶法製備硝酸銨與甘氨酸共晶之研究	
蘇至善、盧盈志、 <u>許維挺</u>	
PP 3	21
吡咯烷(Pyrrolidine)與哌啶(Piperidine)對 CO ₂ 及 CH ₄ 水合物生成熱力學效應之實驗量測與其於氣體分離技術開發之潛力探討	
蘇至善*、邱祈鈞、 <u>曾婕儀</u>	
PP 4	22
固態發泡過程中聚甲基丙烯酸甲酯之瞬態透明現象	
<u>馬啟斌</u> ¹ 、Kiday Fiseha Gebremedhin ¹ 、饒奇軒 ¹ 、葉樹開 ^{1,*}	
PP 5	23
氯硝柳胺於超臨界二氧化碳中之溶解度量測	
<u>林楷翔</u> 、謝介銘*	
PP 6	24
丙酮共溶劑對超臨界二氧化碳輔助蝕刻製備 Ti ₃ CN MXene 之影響	
<u>林秉彥</u> ¹ 、馮瑞陽 ^{1*} 、連培榮 ² 、邱永和 ³	
PP 7	26
結合濕式蝕刻與超臨界二氧化碳輔助處理製備	
Mo ₂ Ti ₂ C ₃ MXene 奈米片	
<u>蘇冠宇</u> ¹ 、林秉彥 ¹ 、馮瑞陽 ^{1*} 、連培榮 ² 、邱永和 ³	
PP 8	26
Comment on ‘High-Pressure Phase Equilibria of CO ₂ + Acetophenone’: On the Consistency of the Reported VLE Data	
Zhe-Wei Lin, Ardila Hayu Tiwikrama*	

一、研討會議程

時間	議程內容		
09:30~10:00	報到		
10:00~10:10	開幕式（主任委員致歡迎詞/貴賓致詞）		
10:10~10:50	邀請演講(I) 以碳減碳的綠色製程：超臨界二氧化碳在半導體先進清洗與耗材循環之實踐	演講人： 衍立光(股)公司 游議輝技術長	主持人： 郭子禎秘書長 台灣超臨界流體協會
10:50~11:00	Coffee Break		
11:00~11:40	邀請演講(II) 天然活性物質微脂體遞送於視網膜之保護作用：從分子機制到轉譯應用	演講人： 中山醫學大學 張元衍教授	主持人： 蘇至善教授 國立台北科技大學 化學工程與生物科技系
11:40~12:00	OP 01 Wei-Lun Chen /明志科技大學化學工程系		
12:00~12:20	OP 02 林靖鏘/國立臺北科技大學環境工程與管理研究所		
12:20~13:20	午餐/聯誼時間		
13:20~13:40	OP 03 鄭劭文/國立高雄大學電機工程學系		主持人： 吳弦聰教授 明志科技大學 化學工程系
13:40~14:00	OP 04 Pradnya Paramitha /國立臺北科技大學化學工程與生物科技系		
14:00~14:40	邀請演講(III) 天然油脂的劑型應用與產品開發－以沙棘油與肉桂油微囊粉為例	演講人： 寶泓生醫(股)公司 賴緒明處長	
14:40~16:00	海報論文展示評選及廠商展示區交流/會員大會報到/茶敘		
16:00~17:00	會員大會	理監事選舉開票作業	
17:00~17:10	宣佈第 12 屆理監事當選名單		
17:10~17:40	前往晚宴會場		
18:00~20:00	晚宴、頒贈捐助廠商感謝狀、研究論文優良及佳作獎		

※如因不可抗拒因素，本會保有活動內容變更調整之權利。

二、邀請演講(I)游議輝技術長介紹

演講題目：以碳減碳的綠色製程：超臨界二氧化碳在半導體先進清洗與耗材循環之實踐

姓名	游議輝		
職稱	技術長		
機關地址	新北市林口區文化二路 1 段 390 號 6 樓		
電話	0921240503	傳真	
E-mail	Richard@clearliteco.com		
學歷	國立台灣大學化學工程學系博士		
研究方向	超臨界流體再生技術 微汙染控制 生質廢棄物高質化再利用		
專長	化學濾網微汙染控制 超臨界流體再生技術		
經歷	工業技術研究院 工程師 國家度量衡中心 標準系統負責人 濾能股份有限公司 研發經理/研發處副處長/技術長 國立台北科技大學		

三、邀請演講(II) 張元衍教授介紹

演講題目：天然活性物質微脂體遞送於視網膜之保護作用：從分子機制到轉譯應用

姓名	張元衍			
職稱	教授兼醫學系微免學科主任			
機關地址	中山醫學大學			
電話	0963124330	傳真		
E-mail	cyy0709@csmu.edu.tw			
學歷	國立中興大學 獸醫學博士			
研究方向	營養保健，營養免疫、天然物抗氧化與抗發炎、護眼素材開發			
專長	病毒學、免疫學、生物技術、營養免疫、保健食品功能性評估(抗病毒、預防 AMD、抗發炎、降血脂、免疫調節及護眼)			
經歷	1. 中山醫學大學 醫學系 教授兼任教務長 (2026/08~至今) 2. 中山醫學大學 醫學系 教授兼任教務長 (2020/08~2026/01) 3. 中山醫學大學 體育中心主任 (2022/02~2022/07) 4. 中山醫學大學 醫學模擬教學暨臨床技能訓練中心主任 (2021/09~2022/07) 5. 中山醫學大學 醫學系 教授兼任註冊課務組組長 (2014/08~2020/07) 6. 中華民國教育部 大學招生專業化發展推動團隊 審查委員 (2020/07~至今) 7. 台灣保健食品學會 監事 (2021/04~至今) 8. 台灣保健食品學會 副秘書長 (2019/04~2021/03) 9. 107 年中山醫學大學醫學院最佳學術研究獎 10. 2017 年獲台灣食品科學技術學會-食品學術研究榮譽獎 11. 2022 年獲台灣保健食品學會-傑出學術研究獎 12. 2025 發光、發亮·農業生技創新創業競賽- 脂眼護檸 Eye cover U-亞軍 13. 2025 年獲得國家新創獎-學研新創獎-晴采未來：水產微脂體啟動護眼新世代			

四、邀請演講(III)賴緒明處長介紹

演講題目：天然油脂的劑型應用與產品開發—以沙棘油與肉桂油微囊粉為例

姓名	賴緒明			
職稱	寶泓生醫-基礎研發處 處長			
機關地址	行政總部：402 台中市南區興大路 145 號 創新育成中心 R207 室 生物技術處：407 台中市西屯區科園路 19 號 R506 室			
電話	04-22851566	傳真		
E-mail	ming@powinbio.com			
學歷	國立中興大學 化學系 博士			
研究方向	活性藥物成分與油脂原料的劑型設計及產品開發，著重微奈米載體包覆與劑型應用技術的產品開發。			
專長	劑型應用與產品開發 活性成分包覆與傳輸系統 油性原料粉末化及水分散配方設計 可溶性微針 Microneedle 設計與產品製造			
經歷	Publications： Journal of Applied Physics, 107, 09B318 Industrial & Engineering Chemistry Research, 51(33), 10778 – 10784 Journal of Nanomaterials, 2012, 631584 Journal of Materials Chemistry, 22, 15160 Advanced Drug Delivery Reviews, 78, 88 – 104 Scientific Reports, 5, 8744 Smart Science, 4(4), 167 – 172 Analytical and Bioanalytical Chemistry, 412, 4057 – 4065 Pharmaceutics, 14(5), 1000 International Journal of Nanomedicine, 18, 8077 – 8097 Work Experiences： 國立中興大學化學系博士後研究員 東日生醫研發經理 寶信生醫研發經理			

寶泓生醫基礎研發處處長(現職)

寶泓生醫化妝保養品級人體試驗案專案經理(現職)

Awards：

2022 美國 AII 達文西國際發明競賽 金獎

2023 馬來西亞 MTE 國際發明展暨發明競賽 銀獎

2023 美國 AII 達文西國際發明競賽 銀獎

2023 美國 AII 達文西國際發明競賽 銀獎

2024 中國上海國際發明創新競賽 銀獎

Invited Lectures

IL 1 ~ IL 3

以碳減碳的綠色製程：超臨界二氧化碳在半導體先進清洗與耗材循環之實踐

游議輝^{12*}、彭國閔¹、楊書睿¹

¹ 衍立光股份有限公司，新北市，244019，台灣

² 國立台北科技大學能源與冷凍空調工程系潔淨技術研發中心，台北，106344，台灣

摘要

在全球半導體淨零碳排趨勢下，「綠色化學」不再僅是合規議題，而是台灣供應鏈維持全球競爭力的關鍵護城河。台灣超臨界流體協會正處於技術走向規模化商用的關鍵轉折點。

本研究聚焦超臨界 CO₂ 於半導體現場的實戰落地成果，深入解析兩大關鍵製程突破：CO₂ SNOW 乾式精密潔淨：利用固-氣相變動能與低表面張力特性，在零化學溶劑殘留、無水痕前提下，高效剝離次微米及奈米級顆粒，解決先進元件的清洗極限。高階特化液體濾芯之超臨界 CO₂ 再生技術：發揮超臨界流體優異的微孔穿透與深層萃取能力，徹底洗淨膜材深層沉積之特化殘留物，實現零膜損的無損再生，顛覆高階濾芯「一次性使用即報廢」的傳統模式。報告將透過具體驗證數據，剖析超臨界技術如何兼顧製程極限潔淨度與範疇三（Scope 3）廢棄物減量，為半導體製造提供兼具技術可行性與商業降本效益的綠色解方。

關鍵字：超臨界二氧化碳、二氧化碳清潔技術、濾芯再生

魚皮微脂體遞送天然活性物質於視網膜之保護作用：

從分子機制到轉譯應用

張元衍

中山醫學大學 醫學系微生物暨免疫學科

摘要

氧化壓力與粒線體功能失衡是視網膜色素上皮細胞 (retinal pigment epithelium, RPE) 損傷及視網膜退化的重要病理機制。本研究團隊長期利用 sodium iodate (NaIO_3) 誘導之 ARPE-19 細胞及實驗性視網膜退化模式，探討天然活性物質對氧化性視網膜傷害的保護作用與分子機制。研究顯示，quercetin、 α -mangostin、 β -mangostin 及柑橘來源天然素材，可分別透過 PI3K/AKT、PGC-1 α /SIRT3、MEK/ERK/p53、Drp1-mediated mitochondrial fission 及 PI3K/Akt/HIF-1 α /BNIP3 等訊息路徑，降低 reactive oxygen species (ROS) 累積、維持粒線體功能並抑制細胞凋亡。這些研究已建立以 oxidative stress-mitochondrial dysfunction-cell death axis 為核心的視網膜保護研究平台。

然而，天然活性物質由基礎研究走向實際應用時，常受到溶解度不足、穩定性有限、細胞膜滲透性不佳及生物可利用率偏低等因素限制。因此，本研究進一步將研究重點由「活性成分的發掘」延伸至「有效遞送系統的建立」。基於循環經濟與天然資源高值化概念，我們利用水產加工副產物中的鱈龍魚皮萃取物開發天然磷脂質微脂體 (Asl-Lipo) 平台。所建立之 Asl-Lipo 具有良好生物相容性及低免疫原性，粒徑可控制於 200 nm 以下，其中主要分布約 70–120 nm，並可快速進入 ARPE-19 及 BV-2 細胞，展現良好的細胞傳遞能力。

進一步以天然活性成分 tetrahydrocurcumin (THC) 作為模式化合物，Asl-Lipo 對 THC 之包覆率可達 $72.35 \pm 9.49\%$ 。相較於游離型 THC，微脂體包覆後之 Asl-Lipo-THC 可提升細胞內傳遞與生物效應，更有效降低 NaIO_3 誘導之氧化壓力、細胞毒性及 apoptosis，並展現抗氧化與抗發炎作用，顯示微脂體遞送具有降低有效使用劑量及提升安全性的潛力。進一步的動物實驗亦顯示，Asl-Lipo-THC 可減輕 NaIO_3 所造成之視網膜變性，維持視網膜結構並延緩視覺功能受損。

目前，本團隊針對水產微脂體及 Asl-Lipo-THC 相關技術已取得 3 項國內外發明專利及國家新創獎，並持續發展口服、鼻腔及眼部等不同給藥策略。綜合而言，本研究由早期解析天然活性物質的 redox-mitochondrial signaling，逐步延伸至天然磷脂質奈米載體之建立與功效驗證，形成一套涵蓋作用機制解析、活性物質篩選、微脂體包覆、傳遞效率提升及前臨床驗證的整合性研究平台。此策略不僅具有視網膜退化及護眼產品開發之轉譯潛力，更結合水產副產物高值化與循環利用概念，提供天然資源於精準健康、生醫材料及機能性產品開發的新應用方向。

關鍵詞： 視網膜退化、視網膜色素上皮細胞、氧化壓力、粒線體功能失衡、微脂體、天然活性物質、藥物遞送、碘酸鈉

天然油脂的劑型應用與產品開發—以沙棘油與肉桂油微囊粉為例

賴緒明^{1*}、李存詔¹、趙敏涵¹、許維詰¹、明宗敬¹、邱永和²、賴秉杉⁴

¹ 寶泓生醫股份有限公司，台中，402，台灣

² 台超萃取洗淨精機股份有限公司，彰化，502，台灣

³ 國立中興大學化學系，台中，402，台灣

摘要

天然油脂與植萃原料的產品開發，除重視萃取品質與活性成分組成，亦須處理水中分散、成分穩定性及配方相容性等劑型課題。微囊包覆與粉末化可作為銜接原料與終端產品的開發策略，相關載體固體化研究亦提供劑型設計與評估的參考[1]。本演講以沙棘油粉體、水分散型沙棘原料及肉桂油微囊粉為案例，從劑型應用與產品開發角度，探討油性原料轉製為可分散粉體的技術考量。

沙棘案例以果油與籽油為材料，串聯超臨界萃取原料、載體包覆及粉末化流程，說明粒徑、包覆率、粉體含油量與復水分散性等評估項目，並討論抗氧化與穩定性資料在配方選擇上的用途。肉桂油案例則呈現微囊包覆粉體的應用設計，結合大鼠高尿酸模型的評估案例，說明不同劑型比較時，須辨別原油用量與微囊粉體總量，並將動物實驗結果定位為前臨床開發依據。

透過兩類油脂案例，本演講進一步討論粉末、膠囊與沖泡型產品的配方需求，以及載體選擇、製程條件與品質評估之間的關聯。開發重點在於依原料特性建立合適劑型，兼顧成分保護、使用便利性與產品適用性，為超臨界萃取後的原料應用及產品開發提供實務參考。

關鍵字：劑型開發、微囊包覆、超臨界萃取、沙棘油、肉桂油

參考文獻：

- [1] Li, C.-Z., et al. Curcumin-Loaded Oil-Free Self-Assembled Micelles Inhibit the Influenza A Virus Activity and the Solidification of Curcumin-Loaded Micelles for Pharmaceutical Applications. *Pharmaceutics*, 2022, 14(11), 2422.
<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14112422>

Oral Presentations

OP 1 ~ 4

Development of Inhalable Niclosamide–Lysozyme Composites with Enhanced Aerosolization and Dissolution by Supercritical Assisted Atomization

Wei-Lun Chen, Yu-Xuan Huang, Hsien-Tsung Wu*

Department of Chemical Engineering, Ming Chi University of Technology, New Taipei City, Taiwan.

Lysozyme (LYS) nanoparticles with a narrow size distribution were prepared through supercritical assisted atomization (SAA). The influences of major operating variables on particle dimensions and morphology were systematically examined. These variables included solvent composition, precipitation and saturation temperatures, LYS concentration, and the CO₂/solution flow-rate ratio. Higher ethanol fractions in the feed produced smaller particles. This behavior was attributed to stronger secondary atomization resulting from increased CO₂ dissolution in the ethanol–water mixture. The favorable operating conditions consisted of 30 wt% ethanol in water and a CO₂/solution flow-rate ratio of 1.8 [1]. Leucine was subsequently incorporated to improve the aerosolization properties of LYS particles, and 10 wt% was identified as the optimal amount.

Niclosamide (NIC), a poorly water-soluble drug with potential for repurposing against COVID-19, was subsequently incorporated with LYS using SAA under the optimized processing conditions. The influence of the LYS/NIC mass ratio (*Z*) on aerosol deposition and drug dissolution of the resulting composites was systematically investigated *in vitro*. Increasing *Z* resulted in a greater fine particle fraction (FPF). Moreover, NIC dissolution was accelerated as the proportion of water-soluble LYS in the formulation increased. Overall, the SAA-prepared NIC–LYS composite particles demonstrated favorable aerodynamic and dissolution characteristics, supporting their potential as immediate-release formulations for pulmonary drug delivery.

Reference

[1] H.-T. Wu*, Y.-J. Tu, Y.-X. Huang, K. H. Ng, Monodisperse protein nanoparticles production by supercritical assisted atomization, *J. Supercrit. Fluids*, 218, 106517 (2025).

改質 Fe-SBA-15 觸媒應用於尼龍 6 廢纖維水熱液化回收己內醯胺

黃翔聖¹、林靖錚¹、楊任軒^{1*}、陳錦文²、毛栩毅³

¹ 國立臺北科技大學環境工程與管理研究所，台北，10608，台灣

² 國立臺北科技大學分子科學與工程系暨有機高分子研究所，台北，10608，台灣

³ 國家環境研究院氣候變遷研究中心，桃園，320680，台灣

摘要

隨著紡織品消費量及汰換頻率持續增加，紡織廢棄物產生量亦快速攀升，全球每年產生超過九千二百萬噸紡織廢棄物[1]。其中，尼龍 6 因具有良好的機械性質與化學穩定性而廣泛應用於纖維及工程材料，但其廢棄後不易自然分解，因此發展兼具高效率與資源回收效益之化學回收技術具有重要性。

本研究利用水熱液化技術進行尼龍 6 廢棄物之解聚與資源化，藉由亞臨界水介電常數降低及離子積提高之特性，促進尼龍 6 主鏈中醯胺鍵之水解與斷裂，使其轉化為高附加價值單體己內醯胺(ϵ -caprolactam, CPL)。為進一步提升水熱反應效率及觸媒穩定性，本研究開發矽烷化改質 Fe/SBA-15 觸媒。由於 SBA-15 介孔矽材料於高溫高壓水相環境中易發生 Si-O-Si 鍵水解及孔道結構劣化，因此透過表面矽烷化提高材料疏水性與水熱穩定性，以維持觸媒介孔結構及活性金屬位點[2]。

研究結果顯示在亞臨界水及 Fe/SBA-15 觸媒存在下，尼龍 6 廢棄物可有效解聚，最高降解率可達 100%。經 GC-MS 分析確認主要回收產物為 CPL，且所得 CPL 具有高產率及超過 90%之純度。材料特性分析進一步證實，矽烷化改質可有效降低水熱環境對 SBA-15 骨架結構之破壞，維持其介孔結構並提升觸媒水熱耐受性。此外，經多次水熱循環反應後，改質觸媒仍能維持良好的尼龍 6 降解能力及 CPL 回收效率，顯示其具有良好的重複使用性與結構穩定性。本研究建立結合亞臨界水解聚與矽烷化 Fe/SBA-15 催化之尼龍 6 化學回收策略，不僅可實現尼龍 6 廢棄物之高效降解，亦可回收高附加價值之 CPL 單體，同時藉由觸媒表面改質提升其於嚴苛水熱環境下之穩定性。

關鍵詞：尼龍 6、水熱液化、己內醯胺、觸媒回收、SBA-15

[1] T. Rheinland., "DETOX 應對紡織產業污染."

<https://www.tuv.com/landingpage/tw/detox-textile/detox-responds-to-textile-industry-pollution.html>

[2] Q. Lin, K. Wu, Y. Chen, Y. Tang, Y. Wu, M. Yang, Catalytic hydrothermal liquefaction of microalgae for bio-oil production over silylated SBA-15 with high hydrothermal stability, Industrial & Engineering Chemistry Research 56(49) (2017) 14454-14462.

<https://pubs.acs.org/iecred/article/56/49/14454/867080/Catalytic-Hydrothermal-Liquefaction-of-Microalgae>

含水超臨界二氧化碳處理溫度對 多孔矽布拉格反射鏡光學特性之影響

鄭劭文¹、黃捷琳¹、馮瑞陽^{1*}、連培榮²、邱永和³

¹ 國立高雄大學電機工程學系，高雄，81148，台灣

² 財團法人金屬工業研究發展中心，高雄，81160，台灣

³ 台超萃取洗淨精機股份有限公司，彰化，50243，台灣

摘要

多孔矽分布式布拉格反射鏡 (PSi-DBR) 的反射波段取決於多層結構的折射率與厚度，適合作為評估孔洞表面改質效應的光學結構。本研究以含水超臨界二氧化碳 (scCO₂) 進行後製程處理，在固定壓力與時間下改變溫度，探討反射波段位移及其與多層結構的關聯。

以 p 型矽晶圓進行電化學蝕刻，交替施加 10 與 50 mA/cm² 電流密度，製備 10 週期的多孔矽多層結構。將樣品置於含水與丙酮各 3 mL 的 scCO₂ 系統，在 3000 psi 下分別於 120、150、175 及 200 °C 處理 3 h。其中水為反應成分，丙酮為共溶劑，scCO₂ 則提供孔洞內反應物傳輸的介質。

反射光譜顯示，未處理樣品的反射帶中心位於 606 nm，經上述溫度處理後依序移至 590、575、535 及 548 nm，藍移量分別為 16、31、71 及 58 nm。藍移幅度隨溫度由 120 升至 175 °C 而增加，至 200 °C 則減小，呈現非單調的溫度響應。掃描式電子顯微鏡 (SEM) 顯示，175 °C 處理後仍可辨識週期性多孔層，未見明顯塌陷。

在層厚變化可忽略的假設下，四種處理溫度對應的有效折射率降幅依序約為 2.64%、5.12%、11.72% 及 9.57%，此為光譜推估而非直接量測。結合先前 X 光光電子能譜 (XPS) 的表面含氧物種分析，結果與氧化改質造成折射率降低的解釋一致。本研究顯示，處理溫度是調整 PSi-DBR 反射波段的重要參數；在本研究條件下，以 175 °C 的藍移最為明顯，展現含水 scCO₂ 用於多孔光學結構後製程調控的可行性。

關鍵字：含水超臨界二氧化碳、多孔矽、布拉格反射鏡、處理溫度、光學調控

Supercritical CO₂ activation: A green route to high surface area MOF for enhanced hydrogen storage

Pradnya Paramitha, Ardila Hayu Tiwikrama*

Department of Chemical Engineering and Biotechnology, National Taipei University of Technology, 1, Section 3, Zhongxiao East Road, Taipei 106, Taiwan

Supercritical fluid (SCF) technology offers a particularly effective technology for the synthesis and processing of porous materials. Well-designed metal-organic porous materials such as metal-organic frameworks (MOFs) which is prepared from metal-containing nodes and organic linkers, have been known as crystalline nanoporous materials with wide areas of application including hydrogen storage. As promising clean energy carrier, hydrogen produced via methane reforming and gasification is typically contains CO₂ impurities, requiring efficient H₂/CO₂ separation to yield high-purity hydrogen [1,2]. Two representatives of MOFs, CALF-20 and JLU-Liu-39, were successfully synthesized with and without supercritical carbon dioxide (scCO₂). The activation of scCO₂ to these MOFs resulted increasing the internal surface area of MOFs. The resulting MOFs were characterized by X-ray diffraction (XRD), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM) and BET analysis for surface area and porosity. In addition, H₂/CO₂ adsorption experiments were conducted at temperature ranges from 263.15 K to 323.15 K and pressures up to 5 MPa. With scCO₂ preparation, CALF-20 exhibited the highest CO₂ adsorption capacity at 50 bar and 263.15 K with 99.8 % adsorption capacity of CO₂ after five adsorption-desorption cycles. While JLU-Liu-39 showed high adsorption H₂ capacity up to 5 wt%. For comparison, conventional solvothermal synthesis (without scCO₂) yielded MOFs with roughly half the hydrogen adsorption capacity of those synthesized via scCO₂. Furthermore, the equilibrium adsorption data were modeled using Langmuir, Freundlich, Sips, Toth, and Temkin isotherm equations. Additionally, adsorption kinetics were examined employing the pseudo-first-order (PFO), pseudo-second-order (PSO), and Elovich kinetic models. The adsorption results demonstrated that CO₂ uptake increased with elevated pressure but diminished as temperature rose, consistent with the exothermic nature of the adsorption process [3]. Kinetic analysis revealed that the PFO model more effectively represented the experimental CO₂ adsorption kinetics in comparison to the PSO and Elovich models, with R^2 values spanning from 0.974 to 0.990 for all adsorbents. These findings highlight the superior performance of the scCO₂ synthesize method in enhancing the properties of MOF structures and demonstrate that scCO₂ activation-MOFs as effective CO₂/H₂ adsorbents for achieving zero-target CO₂ emission.

Keywords: Metal-organic framework, adsorption isotherm, H₂/CO₂ separation, supercritical carbon dioxide (scCO₂)

References

- [1] M. Nasser, T.F. Megahed, S. Ookawara, H. Hassan, A review of water electrolysis-based systems for hydrogen production using hybrid/solar/wind energy systems, *Environmental Science and Pollution Research* 29 (2022) 86994–87018. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23323-y>.
- [2] Q. Al-Naddaf, H. Thakkar, F. Rezaei, Novel Zeolite-5A@MOF-74 Composite Adsorbents with Core-Shell Structure for H₂ Purification, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 10 (2018) 29656–29666. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b10494>.
- [3] Z. Keyvanloo, A. Nakhaei Pour, F. Moosavi, Molecular simulation of adsorption and diffusion of H₂ /CO₂ /CO /MeOH /EtOH mixture into the zeolitic imidazolate framework ZIF-8, *Microporous and Mesoporous Materials* 333 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2022.111723>.

Paper Presentations

PP 1 ~ PP 8

以超臨界反溶劑技術進行硝酸銨微粒設計之研究

蘇至善^{1,*}、童煜晟¹、謝東憬¹、邱永和²

¹ 國立臺北科技大學化學工程與生物科技系

² 台超萃取洗淨精機股份有限公司

摘要

過氯酸銨 (Ammonium perchlorate, AP) 長期作為固體推進劑的主流含能氧化劑，但由於其含氯元素，燃燒時會釋放酸性氣體造成環境危害，所產生的明顯尾煙亦會嚴重破壞飛彈的低可偵測性。因此，開發無鹵綠色氧化劑已成為當務之急。硝酸銨 (Ammonium nitrate, AN) 因其低毒性、潔淨的燃燒產物以及具成本效益等優勢，被視為極具前景的候選材料。儘管具備這些優點，硝酸銨的應用仍受限於其複雜的多晶型 (Polymorph) 轉變行為，特別是在接近室溫，約 32°C 時，由第 IV 相轉變為第 III 相，造成固體密度改變並引發儲存穩定性疑慮。此外，傳統方法例如熔融造粒法或機械研磨法，難以精確控制粒徑特性，亦無法有效提升硝酸銨相對較低的燃燒效率。因此，進行顆粒設計例如製備微米級顆粒以提高燃燒效率，或開發相穩定化硝酸銨 (Phase stabilized ammonium nitrate, PSAN) 對於進一步探索硝酸銨在實際應用中的潛力至關重要[1]。為了克服這些技術瓶頸，本研究採用超臨界反溶劑 (Supercritical antisolvent, SAS) 技術，以超臨界二氧化碳作為反溶劑製備微米級 AN 與 PSAN。本研究首先篩選最佳有機溶劑，並探討各項操作參數，包括結晶溫度、壓力、硝酸銨溶液濃度以及溶劑與反溶劑之流量比，對 AN 粒徑與型態的影響。為了進一步提升相穩定性與分散性，本研究引入不同類型之添加劑進行微粒設計。實驗結果顯示，本研究不僅成功將原本毫米級的硝酸銨顆粒微粒化至微米級，亦驗證了利用 SAS 技術製備 PSAN 微米顆粒的可行性與潛力。這些研究成果為未來無鹵氧化劑與高能複合材料的開發提供了一條新的設計途徑。

關鍵字：超臨界反溶劑技術，微粒設計、硝酸銨、相穩定

參考文獻：

- [1] K. Y. Hasue, Kazuya, The mixture of the phase stabilized ammonium nitrate containing potassium nitrate and IHT as the new gas generant composition, Science and Technology of Energetic Materials 74 (2013) 66–72.

本研究感謝國科會之經費支持，計畫編號為 NSTC 113-2221-E-027-009-MY3

以超臨界溶劑共結晶法製備硝酸銨與甘氨酸共晶之研究

蘇至善、盧盈志、許維挺

臺北科技大學化學工程暨生物科技

摘要

硝酸銨 (Ammonium nitrate) 具備高含氧量與無氯燃燒的特性，在固體火箭推進劑配方中，被視為取代傳統過氯酸銨的理想材料。然而，硝酸銨固有的高吸濕性，以及在約 32°C 時晶型 IV 轉變為晶型 III 的多晶型相變化，會引發固體密度的改變，進而導致推進劑結構受損，嚴重限制了其實際應用。因此，透過結晶工程中的共晶設計來修飾其固態特性至關重要。文獻指出[1]，以 2:1 莫耳比組成的硝酸銨與甘氨酸 (Glycine) 共晶能有效降低吸濕性，並消除約 32°C 時的多晶型相變問題。然而，傳統的共晶製備方法，例如冷卻結晶或溶劑輔助機械研磨，需耗費大量有機溶劑，或高能輸入過程亦伴隨著安全隱憂。為克服這些限制，本研究採用超臨界溶劑共結晶 (Cocrystallization with supercritical solvent, CSS) 技術來製備該共晶。為篩選合適的共溶劑，本研究首先測定了硝酸銨與甘氨酸在各種溶劑系統中的溶解度。結果顯示，在使用足量且適當共溶劑的條件下，CSS 技術能成功促使共晶形成。隨後，本研究使用一次一因子方法進一步探討了操作溫度、壓力、攪拌速度與接觸時間等參數對 CSS 共晶過程的影響。經 PXRD 分析與 CCDC 資料庫圖譜比對，並輔以 DSC 及 FTIR 檢測，均證實 CSS 技術能成功製備該共晶。本研究驗證 CSS 製程在綠色含能共晶製備之可行性與潛力。

關鍵字：超臨界溶劑共結晶法、含能氧化劑、硝酸銨、甘氨酸

參考文獻：

- [1] K. Inoue, Y. Nishiwaki, M. Kumasaki, S. Matsumoto, K. Okada, Synthesis of environmentally friendly energetic cocrystal derived from commodity chemicals, Chem. Commun. 60 (2024) 13963-13966.

本研究感謝國科會之經費支持，計畫編號為 NSTC 113-2221-E-027-009-MY3

吡咯烷(Pyrrolidine)與哌啶(Piperidine)對 CO₂ 及 CH₄ 水合物生成 熱力學效應 之實驗量測與其於氣體分離技術開發之潛力探討

蘇至善*、邱祈鈞、曾婕儀
國立臺北科技大學化學工程與生物科技系

摘要

隨著全球永續發展與綠色能源需求提升，沼氣因具有再生能源潛力而備受關注。然而，沼氣主要由甲烷(CH₄)、二氧化碳(CO₂)及微量硫化氫(H₂S)組成，因此如何有效分離甲烷與其他氣體成為重要課題。傳統氣體分離技術包含低溫蒸餾、膜分離、吸附及吸收等方法，其中膜分離雖廣泛應用，但存在膜汙染、劣化、廢棄物處理及壓力損失等問題。相較之下，水合物氣體分離技術(Hydrate-Based Gas Separation, HBGS)具有低能耗與環境友善等優勢，並可兼具CO₂捕捉與分離功能，具高度發展潛力[1]。根據本研究團隊先前的研究結果，添加吡咯烷(pyrrolidine)與哌啶(piperidine)後，對CO₂與CH₄水合物形成所產生的熱力學效應具有明顯差異。因此，本研究進一步系統性量測不同濃度之吡咯烷與哌啶對CO₂及CH₄水合物相平衡邊界的熱力學影響，並以此作為HBGS製程設計之基礎。本研究利用等容溫度搜尋法測定相平衡點，結果顯示，Pyrrolidine與Piperidine對CO₂水合物具有熱力學抑制效果，而對CH₄水合物則具有相反之促進效果；另透過Clausius–Clapeyron方程式分析相變潛熱，以推估水合物晶體結構。結構分析顯示，CO₂系統皆維持sI型結構；純水CH₄系統為sI型，加入添加劑後則轉變為sII型。綜合而言，本研究之熱力學結果顯示，將吡咯烷與哌啶作為添加劑應用於CO₂/CH₄混合氣體之水合物氣體分離，具有高度發展潛力，有機會在特定操作區間下，選擇性生成CH₄水合物，達到氣體分離與CH₄固化之雙重目標，可作為未來HBGS製程設計與優化的重要依據。

關鍵字：水合物氣體分離技術、甲烷水合物、二氧化碳水合物、哌啶、吡咯烷

參考文獻：

- [1] Z. Tu, L. Li, F. Wang, and Y. Zhang, "Review on separation of coalbed methane by hydrate method," *Fuel*, vol. 358, p. 130224, 2024.

本研究感謝國科會之經費支持，計畫編號為 NSTC 113-2221-E-027-009-MY3

固態發泡過程中聚甲基丙烯酸甲酯之瞬態透明現象

馬啟斌¹、Kiday Fiseha Gebremedhin¹、饒奇軒¹、葉樹開^{1,*}

¹ 國立臺灣科技大學材料科學與工程系，台北 106，台灣

*通訊作者：skyeh@mail.ntust.edu.tw

摘要

本研究報告二氧化碳 (CO₂) 飽和之聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 於室溫常壓發泡過程中所出現的瞬態透明現象。高分子量之 PMMA-H (Mw=81 kg/mol) 於 13.79 MPa、0 °C 下飽和 24 小時後洩壓，並於室溫 (25±2 °C) 自由發泡，依序呈現「半透明→透明→不透明」之光學演變：洩壓後 1:00 至 1:30 分鐘出現半透明霧化，約 2:00 分鐘轉為全透明並維持 30 至 60 秒，隨後於 2:30 至 3:00 分鐘轉為不透明；PMMA-M (64 kg/mol) 與 PMMA-L (58 kg/mol) 於相同條件下快速粗化，全程未出現透明階段。此分子量依存性顯示該現象受熔體黏度所抑制之泡孔聚結速率主導，且於無拉伸之自由發泡下同樣成立。此瞬態光學演變亦具幾何依存性：圓片試片之邊緣先轉為不透明，中心透明區則可維持較久，顯示透明狀態之持續時間取決於至最近自由表面之擴散距離。紫外-可見光量測顯示透明態之光譜平坦，500 nm 下正規化穿透率由 1:00 分鐘之 0.93 降至 4:30 分鐘之 0.61，其波長依存性遠弱於嚴格 Rayleigh 散射之預期，指向跨越多重尺度之非均質散射結構。SEM 於相對密度 0.972 下呈現次微米互連疇域形貌，顯示奈米尺度結構重組先於巨觀膨脹發生。

關鍵字：固態二氧化碳發泡、聚甲基丙烯酸甲酯、瞬態透明、泡孔聚結、樣品保存

參考文獻：

- [1] S.-K. Yeh, et al., Polymer 191 (2020) 122275
<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.122275>
- [2] 饒奇軒，以批次發泡法探討聚甲基丙烯酸甲酯奈米泡材發泡行為與結構控制，碩士論文，國立臺灣科技大學，2025
- [3] J. Martín-de León, et al., Polymer 170 (2019) 16–23
<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.03.010>
- [4] K. F. Gebremedhin, et al., Polym. Eng. Sci. 64 (2024) 4973–4992
<https://doi.org/10.1002/pen.26895>

氯硝柳胺於超臨界二氧化碳中之溶解度量測

林楷翔、謝介銘*

國立中央大學化學工程與材料工程學系，桃園 32001，台灣

摘要

氯硝柳胺 (Niclosamide) 為傳統抗寄生蟲藥物，近年更在抗癌與抗病毒等多項領域展現廣泛的治療潛力。然而，氯硝柳胺屬於 BCS Class II 藥物，水溶性極低導致其口服吸收與身體可用率受限，常需透過微粒化或製備藥物共晶來改善其溶離特性。傳統製程常伴隨有機溶劑殘留之安全疑慮，而超臨界二氧化碳 scCO_2 具備無毒、低臨界條件且易於回收等特點，是替代有機溶劑的理想綠色介質，並且由於現今溶解度數據是開發製程中重要的量測數據，因此本研究旨在探討氯硝柳胺在超臨界二氧化碳中的溶解度。

本研究利用一組半流動式實驗裝置，測量氯硝柳胺超臨界二氧化碳中之溶解度。其中，氯硝柳胺的量測條件則為溫度 313.2 K、323.2 K、333.2 K 壓力從 14 MPa 到 22 MPa，在每組特定的溫度與壓力條件下，皆進行三次獨立的溶解度實驗，以確保測量結果之再現性，並在取得實驗數據後，使用四種半經驗式模型: Chrastil、Mendez-Santiago and Teja、Kumar and Johnston 以及 Bartle，對溶解度數據進行迴歸以及一致性檢測，用以確保本研究所量測的溶解度數據具有足夠的可靠度。

關鍵字：超臨界二氧化碳、溶解度、氯硝柳胺

參考文獻：

- [1] Chrastil, J. Solubility of solids and liquids in supercritical gases. *J. Phys. Chem.* **1982**, 86, 3016–3021
- [2] Méndez-Santiago, J.; Teja, A. S., The solubility of solids in supercritical fluids. *Fluid Phase Equilibria* **1999**, 158, 501-510.
- [3] Kumar, S. K.; Johnston, K. P., Modelling the solubility of solids in supercritical fluids with density as the independent variable. *The Journal of Supercritical Fluids* **1988**, 1 (1), 15-22.
- [4] Bartle, K.; Clifford, A.; Jafar, S.; Shilstone, G., Solubilities of solids and liquids of low volatility in supercritical carbon dioxide. *Journal of Physical and Chemical Reference Data* **1991**, 20 (4), 713-756.

丙酮共溶劑對超臨界二氧化碳輔助蝕刻製備 $\text{Ti}_3\text{CN MXene}$ 之影響

林秉彥¹、馮瑞陽^{1*}、連培榮²、邱永和³

¹ 國立高雄大學電機工程學系，高雄，81148，台灣

² 財團法人金屬工業研究發展中心，高雄，81160，台灣

³ 台超萃取洗淨精機股份有限公司，彰化，50243，台灣

摘要

$\text{Ti}_3\text{CN MXene}$ 的製備涉及選擇性移除 Ti_3AlCN 前驅物中的鋁層，蝕刻劑於狹窄層間的傳輸為影響層狀結構開展的重要因素。本研究於超臨界二氧化碳 (scCO_2) 環境下，比較氫氟酸 (HF) 與 HF/丙酮兩種配方，在相同 HF 用量與反應條件下，探討丙酮共溶劑對層間開展及後續奈米片製備的影響。

將 200 mg Ti_3AlCN 分別與 2 mL、50 wt.% HF，或由相同 HF 溶液與 2 mL 丙酮組成的混合液反應，於 50 °C、3000 psi 下進行 5 h 的 scCO_2 輔助蝕刻。產物經清洗與乾燥後，以掃描式電子顯微鏡 (SEM) 比較形貌。後續以 2.5 wt.% 四甲基氫氧化銨 (TMAOH) 於 25 °C 插層 6 h，再經冰浴超音波處理及離心分離，取得奈米片分散液，並噴塗於具指叉電極的聚對苯二甲酸乙二酯 (PET) 基板。

SEM 顯示，兩種配方均使緻密前驅物轉變為手風琴狀多層結構，其中加入丙酮者具有較明顯的層間分離。相較文獻常用的 18–24 h 液相蝕刻，本製程於 5 h 即可觀察到層狀開展；惟兩者條件不同，尚不能據此量化反應速率的提升。此結果支持丙酮共溶劑有助於改善蝕刻介質與層狀前驅物的接觸及層間傳輸。經插層與超音波處理後，可於多孔陽極氧化鋁 (AAO) 基板觀察到薄片狀材料；分散液亦可噴塗形成 PET 基板上的薄膜，顯示其與可撓性基板加工的相容性。本研究以固定 HF 用量的比較凸顯共溶劑對層間開展的作用，並建立由 scCO_2 輔助蝕刻銜接奈米片剝離與薄膜製備的流程，提供超臨界流體應用於二維材料製程的實驗依據。

關鍵字：超臨界二氧化碳、丙酮、 $\text{Ti}_3\text{CN MXene}$

結合濕式蝕刻與超臨界二氧化碳輔助處理製備

$\text{Mo}_2\text{Ti}_2\text{C}_3$ MXene 奈米片

蘇冠宇¹、林秉彥¹、馮瑞陽^{1*}、連培榮²、邱永和³

¹ 國立高雄大學電機工程學系，高雄，81148，台灣

² 財團法人金屬工業研究發展中心，高雄，81160，台灣

³ 台超萃取洗淨精機股份有限公司，彰化，50243，台灣

摘要

$\text{Mo}_2\text{Ti}_2\text{C}_3$ 為具雙過渡金屬組成的 MXene，其製備需移除 $\text{Mo}_2\text{Ti}_2\text{AlC}_3$ 前驅物中的鋁層。蝕刻後層間開展不足，可能限制後續插層與剝離。本研究結合濕式蝕刻與超臨界二氧化碳 (scCO_2) 輔助處理，探討二階段製程對層狀結構開展及奈米片製備的影響。

首先將前驅物置於 50 wt.% 氫氟酸 (HF) 中，於 70 °C 濕式蝕刻 24 h。再取 200 mg 產物，加入 2 mL、50 wt.% HF 與 2 mL 丙酮，於 70 °C、3000 psi 下進行 3 h 的 scCO_2 輔助處理。隨後以二甲基亞砜 (DMSO) 於 25 °C 插層 24 h，經冰浴探針式超音波處理與離心分離，取得奈米片分散液。

掃描式電子顯微鏡 (SEM) 顯示，濕式蝕刻後的前驅物呈局部層間開展；經第二階段處理後，手風琴狀層間分離更為明顯。X 光繞射 (XRD) 的低角度峰位移與 MAX 相繞射峰變化，以及 X 光光電子能譜 (XPS) 中保留的碳化物相關訊號，共同支持材料向 MXene 結構轉化。上述結果顯示， scCO_2 輔助 HF/丙酮處理可進一步改善濕式蝕刻產物的層間開展。

經 DMSO 插層與超音波處理後，沉積於多孔陽極氧化鋁 (AAO) 的薄片下方仍可辨識基板孔洞，提供薄化的形貌證據，但尚不足以判定單層厚度。另將分散液噴塗於玻璃基板，可形成薄膜，顯示後續加工的可行性。現有比較反映第二階段整體處理的效果， scCO_2 、共溶劑與額外蝕刻時間的個別貢獻，仍需進一步對照實驗釐清。本研究建立濕式蝕刻、 scCO_2 輔助處理及插層剝離的連續流程，呈現超臨界流體輔助製程在雙過渡金屬 MXene 奈米片製備上的應用潛力。

關鍵字：超臨界二氧化碳、二階段蝕刻、 $\text{Mo}_2\text{Ti}_2\text{C}_3$ MXene、奈米片

Comment on ‘High-Pressure Phase Equilibria of CO₂ + Acetophenone’: On the Consistency of the Reported VLE Data

Zhe-Wei Lin, Ardila Hayu Tiwikrama*

Department of Chemical Engineering and Biotechnology, National Taipei University of Technology,
1, Section 3, Zhongxiao East Road, Taipei 106, Taiwan

Dwi *et al* [1]. 2016 reported vapor-liquid equilibrium (VLE) data for the CO₂ + acetophenone system at high pressure over the temperature ranges from 313.15 K to 343.15 K and pressures up to 28 MPa. In this study, VLE data were investigated the consistency of the reported VLE data using phase equilibrium analyzer (PEA) [2] and cross-validation against reported VLE data [1]. A fundamental inconsistency is identified in the experimental method by Dwi et al. [1]. Given the solubility measurements of acetophenone at 313.15 K to 343.15 K should occur within VLE two-phase coexistence region, however the reported method is suspected to be operated at single-phase region, either in supercritical or superheated vapor region. These discrepancies suggest the experimental uncertainty of data measurements may affect the reliability of the VLE database at isothermal condition. In this study, the high-pressure VLE phase behavior of binary CO₂ + acetophenone system was re-investigated using PEA variable-volume view cell [3]. The isothermal of VLE data were measured at temperatures ranging from 303.15 K to 333.15 K and pressures up to 12 MPa. The equilibrium pressure was determined using an adjustable manual hand-pump, incrementally adjusting the pressure while observing the phase behavior through the view cell. Bubble-point and dew-point transitions were visually observed. The experimental VLE data for the CO₂ + acetophenone system were successfully correlated using the Peng–Robinson (PR) and Soave–Redlich–Kwong (SRK) equations of state combined with van der Waals mixing rules, yielding an absolute average deviation in pressure (*AAD_P*) of less than 3%. These results provide re-measurements of VLE data for future separation of CO₂ + acetophenone application.

Keywords: carbon dioxide; acetophenone; vapor–liquid equilibrium; high-pressure variable-volume cell

References

- [1] M.Y. Dwi, J. Julian, J.N. Putro, A.T. Nugraga, Y.H. Ju, N. Indraswati, S. Ismadji, Solubility of Acetophenone in Supercritical Carbon Dioxide, *The Open Chem. Eng. J.* 10 (2016) 18-28.
- [2] A.H. Tiwikrama, M. Taha, M. J. Lee, Experimental and Computational Studies on the Solubility of Carbon Dioxide in Protic Ammonium-Based Ionic Liquids, *J. Taiwan. Inst. Chem. Engineers* 112, 152-161 (2020).
- [3] Y. Lee, A.H. Tiwikrama, Vapor-Liquid Equilibrium Boundaries and Carbon Dioxide Solubility in Deep Eutectic Solvents Based on Dodecanoic Acid and Thymol at Elevated Temperatures, *J. Supercrit. Fluids* 238, 107087 (2026)