

院 長 的 話

中國文化大學理工學院目前所擬定之發展方向，係以「AI 人工智慧與工程應用」、「淨零排放與綠色科技」以及「前瞻科技」為核心，並延續既有之「綠能科技與材料」與「智慧型數位生活」等整合性研究基礎，積極推動跨領域教學與研究發展。

在「淨零排放與綠色科技」方面，本院持續投入綠色能源、奈米材料、先進化工製程、智慧衣著、節能減碳技術與永續環境等相關研究；在「AI 人工智慧與工程應用」方面，則致力於智慧型機器人、無線感測網路、數位機電、影像處理、智慧控制及其工程實踐等領域的深化與整合；此外，面對科技快速演進的全球趨勢，本院亦將「前瞻科技」納入重點發展方向，期能掌握未來科技脈動，培育具創新思維與跨域整合能力之優秀人才。

本院將以上述發展主軸為基礎，持續推動研發中心之建置、執行研究計畫、舉辦學術論壇與專題研討，藉以凝聚師生研究能量，拓展學術視野。值此本校 64 週年校慶之際，本院特別配合校慶舉辦本次論壇活動，期盼透過師生共同努力，激盪創新思維，促進跨系所、跨領域合作，進而展現本院特色，提升學術研究與產學應用之整體成果。

進入 21 世紀以來，高科技已深刻改變人類生活型態，全球對能源與資源的需求日益增加，永續發展與環境保護的重要性亦更加受到重視。臺灣天然資源有限，多數能源仰賴進口，經濟發展易受國際局勢、能源供需及環境變遷等因素影響。因此，如何發展綠色能源、推動淨零排放、提升能源使用效率、落實節能減碳，已成為產官學研各界共同面對的重要課題。尤其在政府積極推動綠色轉型與永續政策之際，正是臺灣加速發展綠色科技、培育相關人才、提升國際競爭力的重要契機。

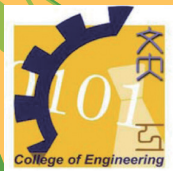
為此，本院特由化學工程與材料工程學系同仁協助「綠能科技與材料」相關議題之規劃，舉辦「2026 綠能科技與材料論壇」，並邀請三位學者專家進行系列專題演講。講者陣容堅強，內容精彩可期，本院謹致上最誠摯之感謝與敬意。

最後，敬祝本次研討會圓滿成功，並祝與會貴賓與全體同仁身體健康、平安順心。

中國文化大學理工學院院長

陳繩義 謹誌

2026 年 3 月 26 日



2026綠能科技與材料論壇

日期：115年3月26日（星期四）

地點：中國文化大學大恩館1樓國際會議廳

議 · 程 · 表

時 間	演 講 題 目	主 講 人	主 持 人
09:30-10:00	報 到		
10:00-10:10	開 幕 式/頒 獎	理工學院 陳繩義 院長	化材系所 陳輝龍 主任
10:10-11:40	Green Hydrogen: Water-splitting Electrocatalysts-from Nanoscale to Atomic Scale	黃景帆 特聘教授 國立中興大學化學系	化材系所 陳輝龍 主任
11:40-13:10	午 餐 (lunch)		
13:10-14:40	從減塑到淨零- 共聚酯材料循環製程與單一材 質易回收產品的應用	林哲增 技術經理 工業技術研究院	理工學院 張鈞智 副院長
14:40-15:00	茶 敘 (coffee breaking)		
15:00-16:30	From Molecules to Materials: Exploring Green Chemistry through DFT Simulations	李涵榮 助理教授 中原大學化學系	化材系所 雷健明 教授
16:30-16:40	閉 幕 式		化材系所 陳輝龍 主任

主辦單位：中國文化大學 理工學院暨化材系所

議程一

Green Hydrogen: Water-splitting Electrocatalysts—from Nanoscale to Atomic Scale

主講人：

黃景帆 特聘教授
國立中興大學化學系

主持人：

陳輝龍 教授/系主任
中國文化大學 化學工程與材料工程學系

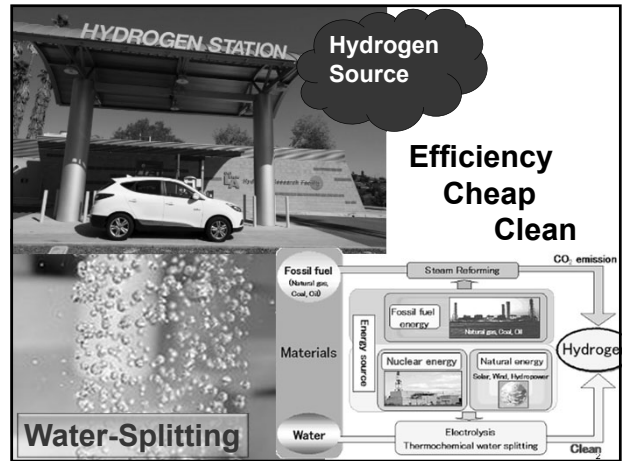
Green Hydrogen: Water-splitting Electrocatalysts- from Nanoscale to Atomic Scale

黃景帆
Jing-Fang Huang

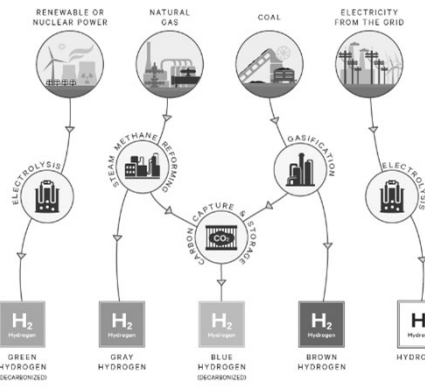
國立中興大學 化學系
Department of Chemistry
National Chung Hsing University, Taiwan (R.O.C)

J. F. Huang 綠能科技與材料論壇·中國文化大學 3/26/2026

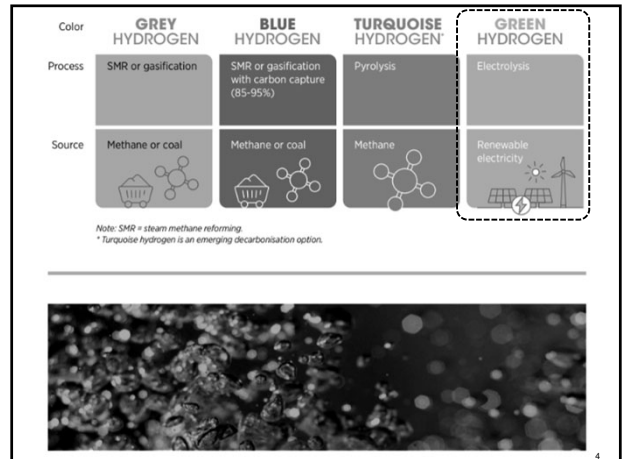
1



Hydrogen Production Processes



3



4

聯華林德將在台灣開出第一座加氫站 2023引進氫能卡車

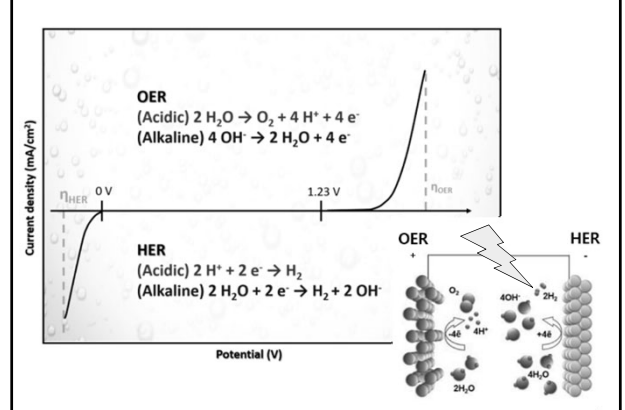
台灣氫能供應鏈

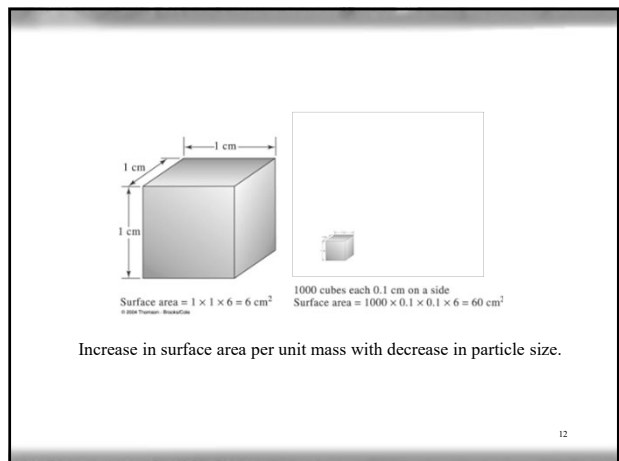
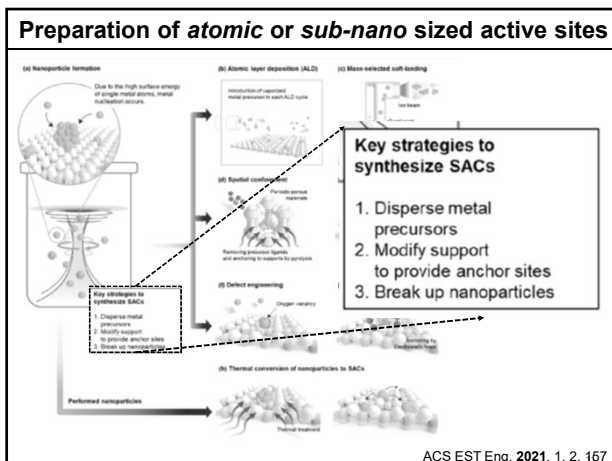
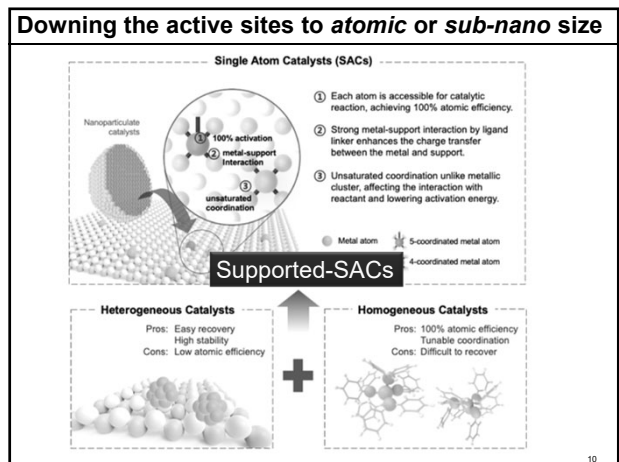
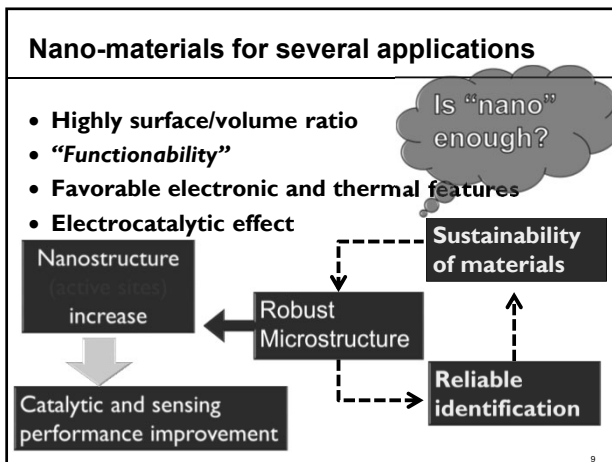
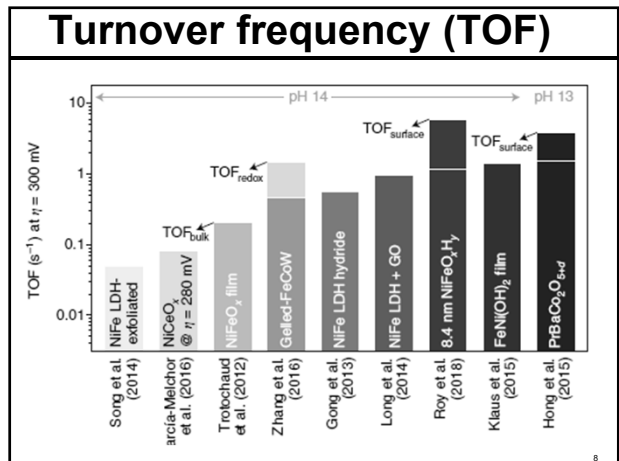
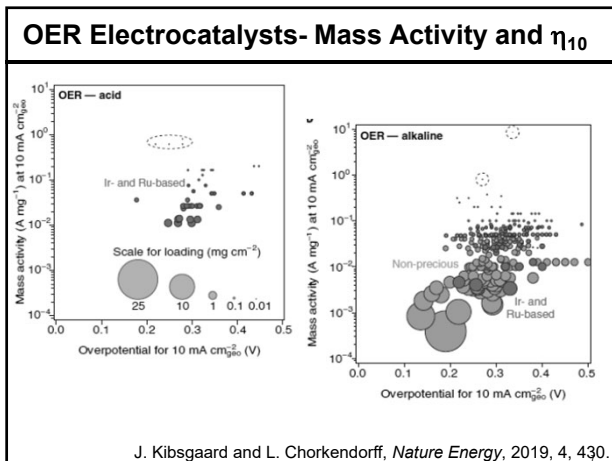
- 氫氣供應**: 工廠製、中興電(台軍、航運、空軍動力)
- 運輸**: 聯華、中興、台塑化、亞細、三聯
- 儲存**: 台塑、台野、大亞精油
- 貯存運輸**: 台塑、上緯、南興、德宏、聯台再生
- 發電**: 中興電、華經、土電、大南、廣源
- 燃料電池**: 聯旺、高力、研美、台達電、長興科
- 氫能應用**: 聯華、華王電、八力科(反-IT)、三聯、和豐通、南豐通機
- 加氫站**: 聯華林德、中遠、華洋實業

資料來源: 採訪整理 淡江大學中心化 / 製表: 馮子傑 / 製圖: 和興三研 圖說網提供(2023/8)

5

Water Splitting- HER and OER





Tools for Characterization of Catalytic Materials

- Composition
- Size
- surface morphology

SEM TEM

STM XRD

ICP-MS: Evaluation of Pt content

University 13

Key Challenges in Fuel Cells

- Electrocatalysts durability
- The cost of catalyst materials
- Green hydrogen

Hydrogen Oxidation Reaction (HOR)

Oxygen Reduction Reaction (ORR)

Anode Proton Conductor Cathode

$H_2 \rightleftharpoons 2H^+ + 2e^-$ $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2H_2O$

Hydrogen Oxygen

Pt size: 4~6 nm

Pt catalysts

Pt clusters (< 1 nm)

$$S = x\pi r^2 \times N$$

$$Q = 4 \times \frac{x}{3} \pi r^3 \rho_{Pt} \times F \times N$$

$$r = \frac{3M_{Pt}}{1.9F\rho_{Pt}} \times \frac{Q}{S}$$

F : Faraday constant
 r : Nanoparticles' average radius
 N : Number of particles
 ρ_{Pt} : Density of platinum
 M_{Pt} : Atomic mass of Pt

國立中興大學
National Chung Hsing University

Electrodissolution of Pt in the 25–75% ZnCl₂-EMIC Ionic Liquid

j (kA/m²)

t (s)

~100% current efficiency

J.-F. Huang* et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* 2012, 51, 1684.

Angewandte Chemie International Edition

Recycling Platinum

Press-Information

國立中興大學
National Chung Hsing University

Electrodissolution of Pt nanoparticle through 4e⁻ pathway

i (μA)

E (V vs. RHE)

Pt loading (μg)

4e⁻ process

2e⁻ process

This results make Pt Size and Content Tracing in Pt-SACs is possible

國立中興大學
National Chung Hsing University

Electrochemical determination of supported Pt nanoparticle electrocatalysts

Number of Particles

Diameter of Pt (nm)

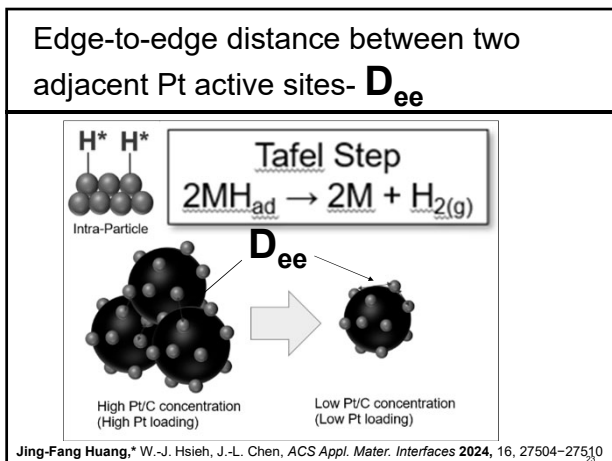
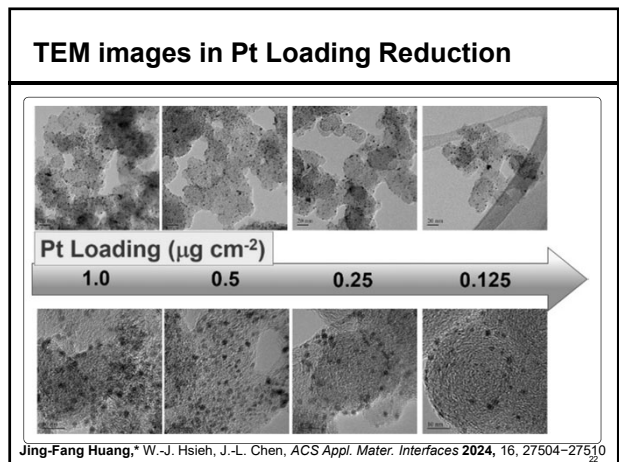
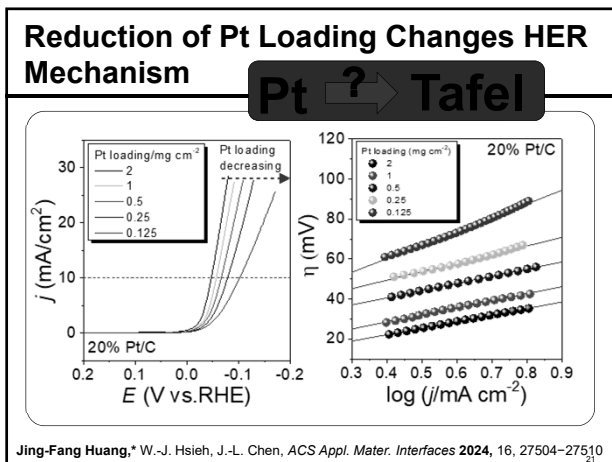
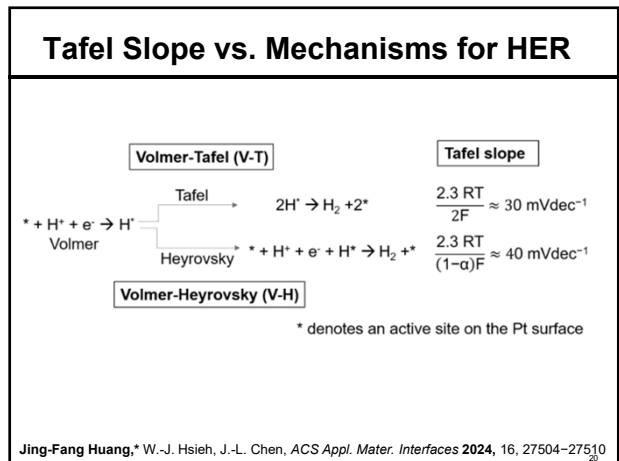
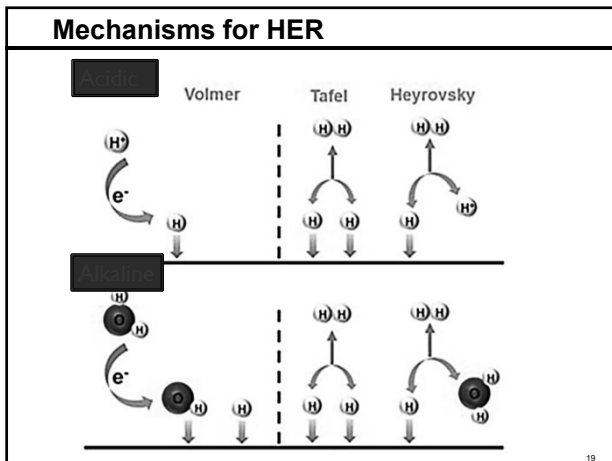
Particle size distribution (PSD)

Static log-normal simulation

$$f(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma d}} \exp\left[-\frac{\left(\ln \frac{d}{d_{av}}\right)^2}{2\sigma^2}\right]$$

J.-F. Huang* and F.-W. Yang, *Anal. Chem.* 2016, 64, 6403.

國立中興大學
National Chung Hsing University



Downing the active sites to atomic or sub-nano size

Single Atom Catalysts (SACs)

① 100% activation
② metal-support interaction
③ unsaturated coordination

Heterogeneous Catalysts

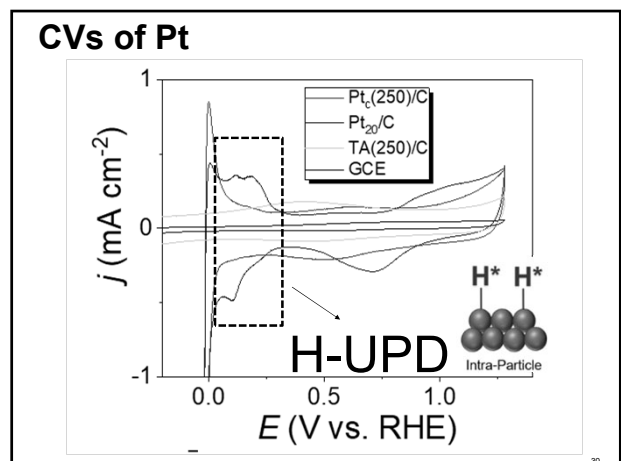
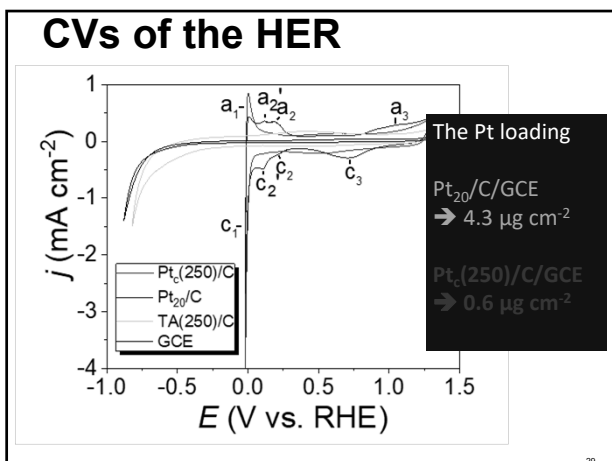
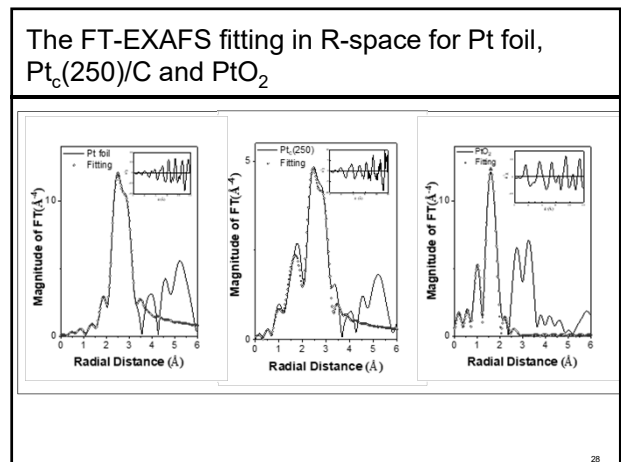
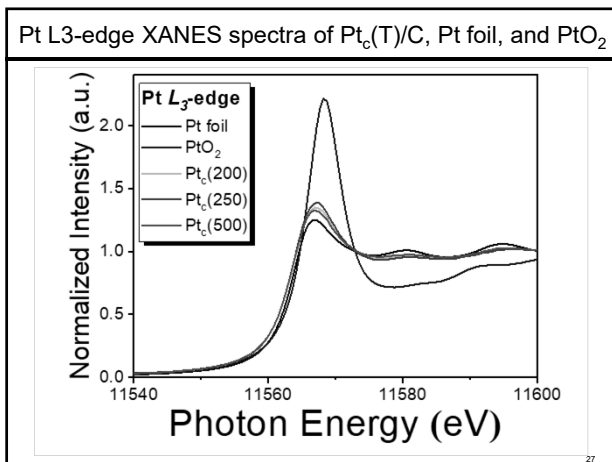
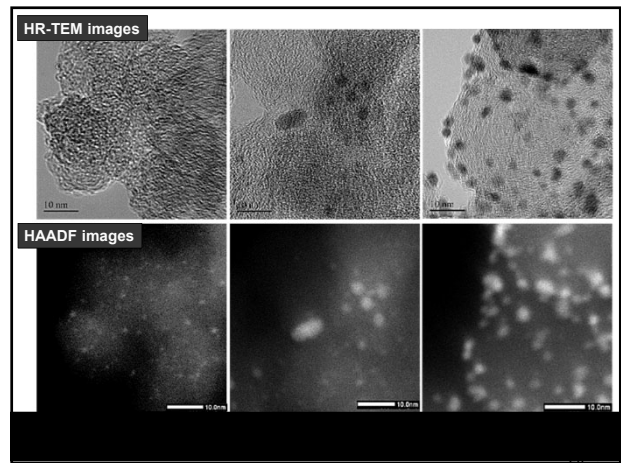
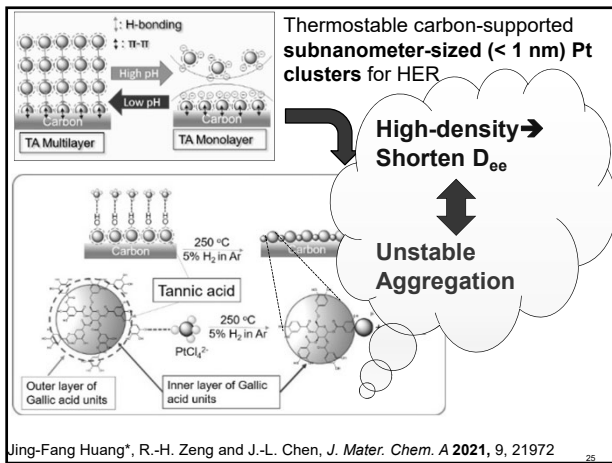
Pros: Easy recovery
High stability
Cons: Low atomic efficiency

Homogeneous Catalysts

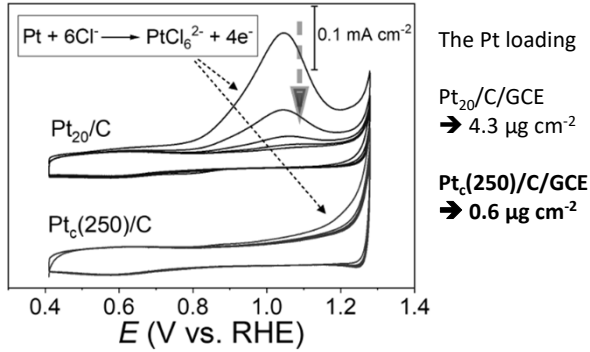
Pros: 100% atomic efficiency
Tunable coordination
Cons: Difficult to recover

Is only downing the size of active sites enough?

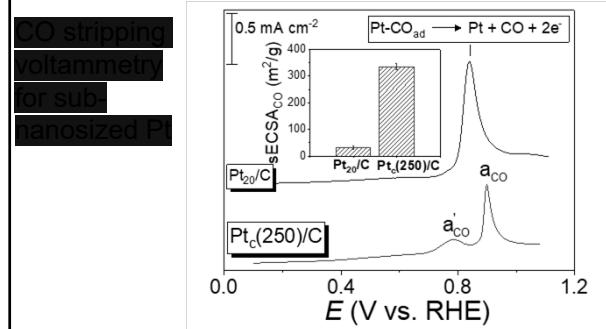
24



Electrochemical determination of Pt content in Sub-nano Size



Jing-Fang Huang*, R.-H. Zeng and J.-L. Chen, *J. Mater. Chem. A* 2021, 9, 21972

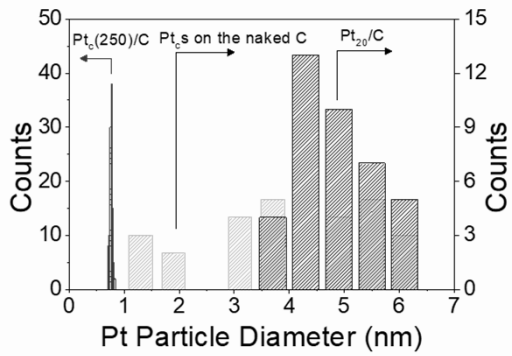


The specific ECSA ($\text{ECSA} = \text{ECSA}/\text{Pt weight, m}^2 \text{ g}^{-1}$)

Pt_{20}/C was $\sim 28.7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$

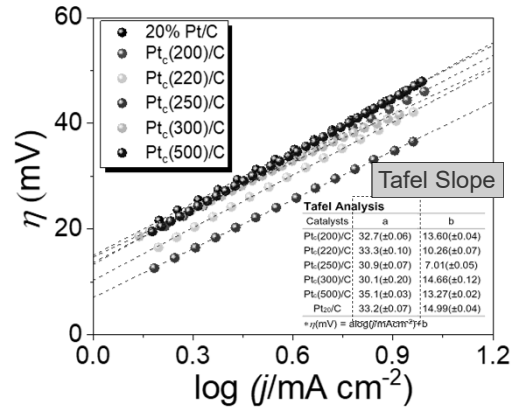
$\text{Pt}_c(250)/\text{C}$ $\sim 335.7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$

Pt particle size distribution

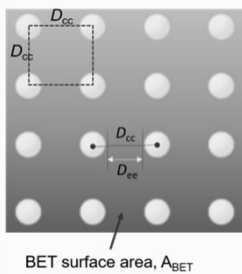


Jing-Fang Huang*, R.-H. Zeng and J.-L. Chen, *J. Mater. Chem. A* 2021, 9, 21972

Tafel Analysis



Evaluation of D_{ee} (edge to edge distance between each Pt_c)



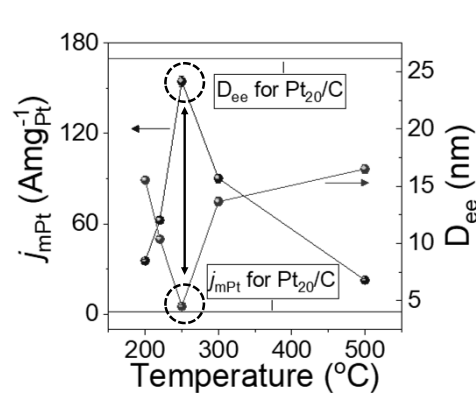
$$D_{cc} \text{ (center to center distance between each Pt}_c\text{)} = (A_{\text{BET}}/N_{\text{Pt}_c})^{0.5}$$

$$D_{ee} \text{ (edge to edge distance between each Pt}_c\text{)} = D_{cc} - D_{\text{Pt}_c}$$

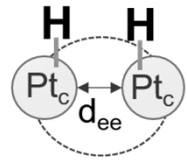
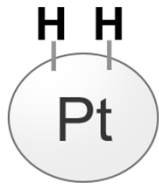
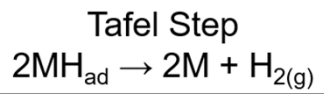
$$= (A_{\text{BET}}/N_{\text{Pt}_c})^{0.5} - D_{\text{Pt}_c}$$

(Note: N_{Pt_c} is the number of Pt_c and A_{BET} is BET surface area of Carbon Substrate)

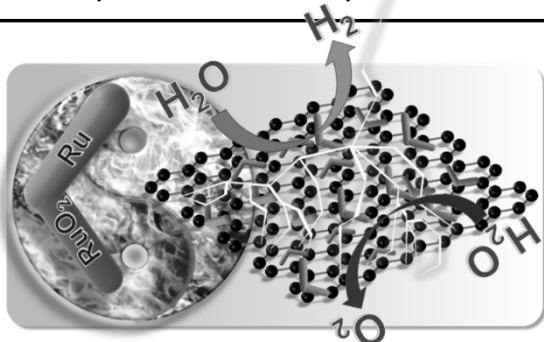
HER performance vs. D_{ee}



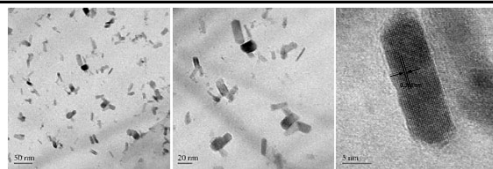
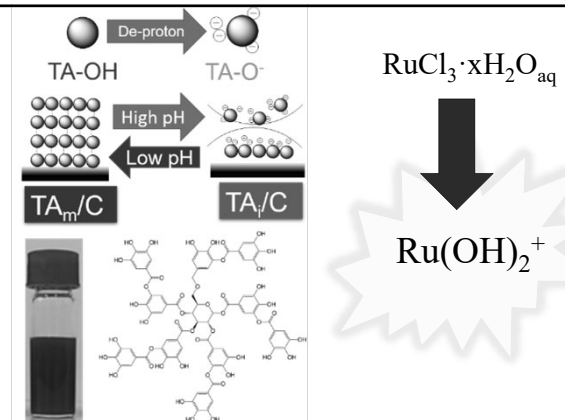
Tafel step : Intra-Particle vs. Inter-Particle



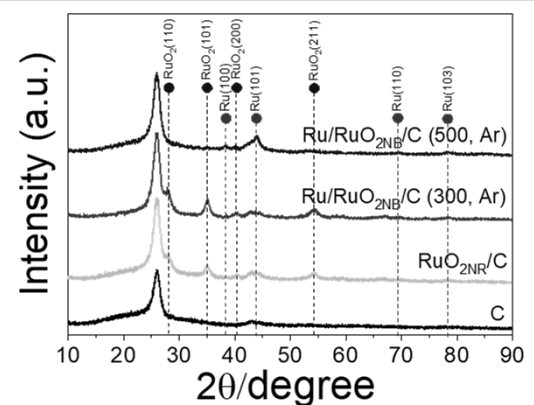
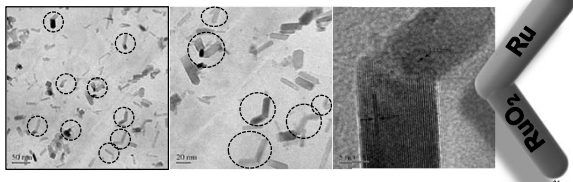
Janus Ru/RuO₂ Nano-Boomerangs on Carbon as pH-Universal Electrocatalysts with Bifunctional Activity toward HER and OER

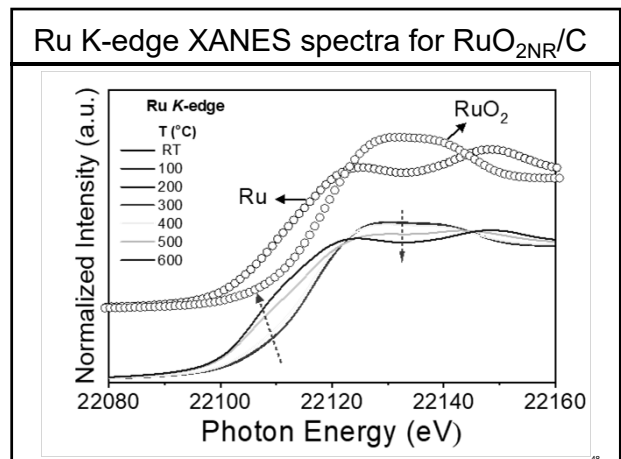
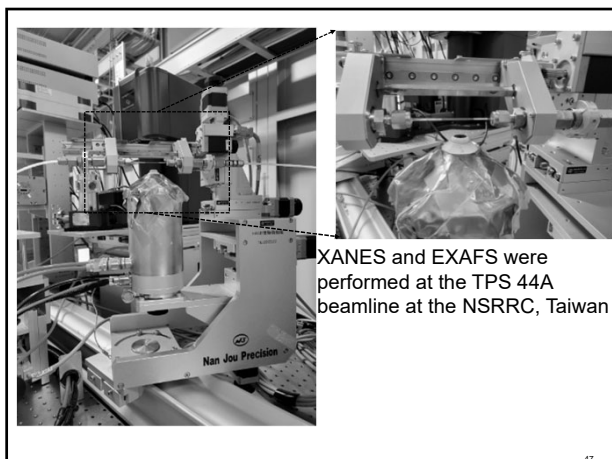
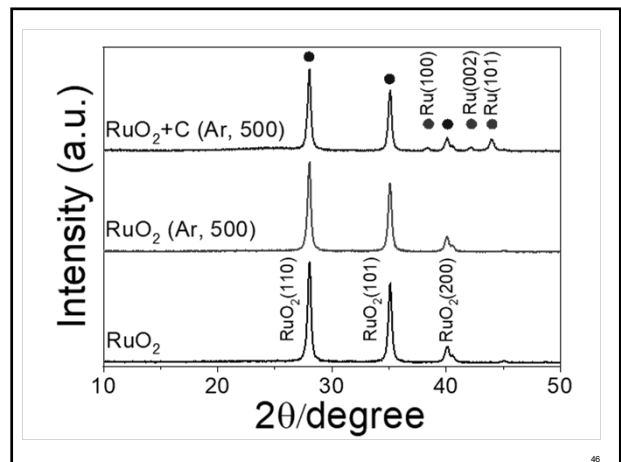
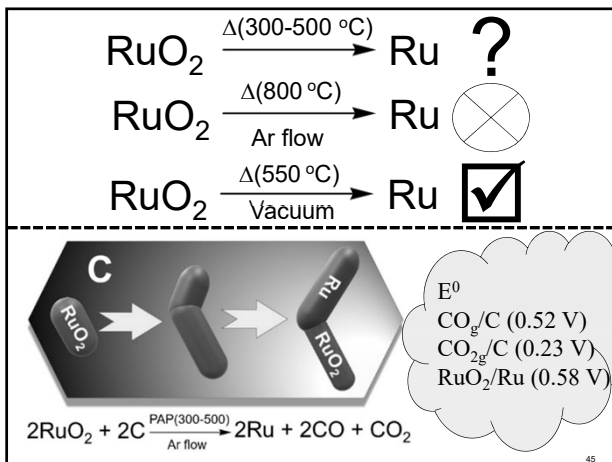
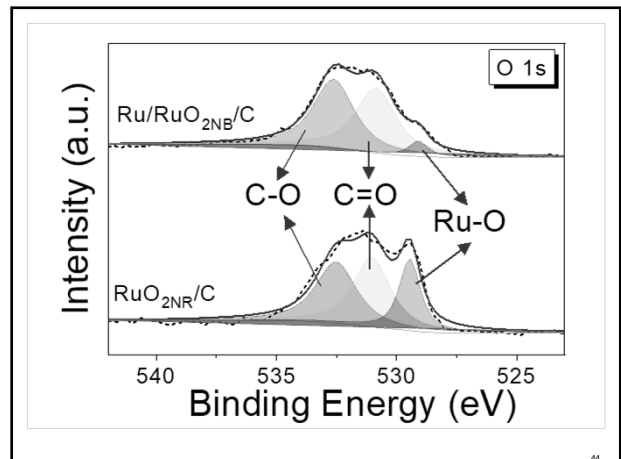
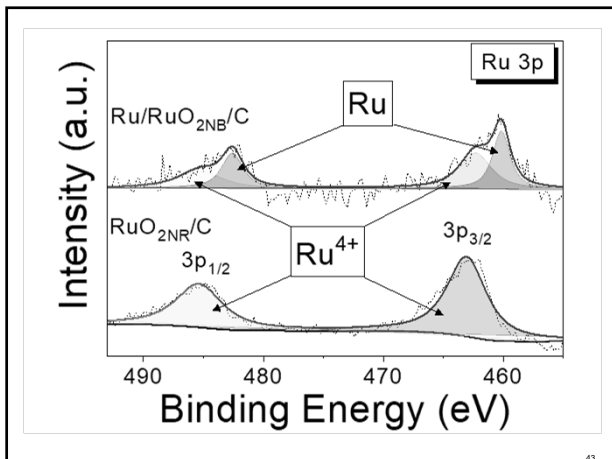


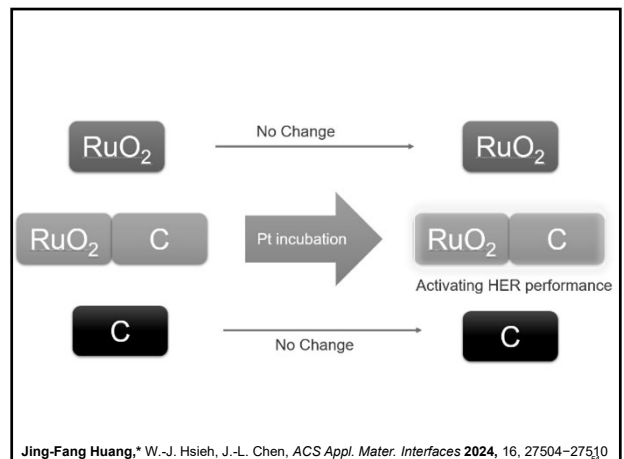
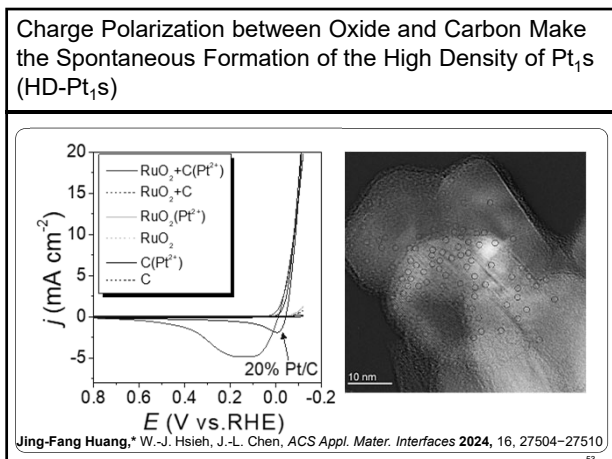
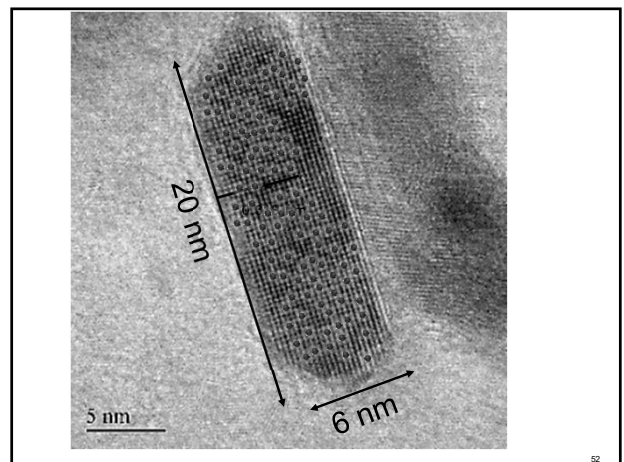
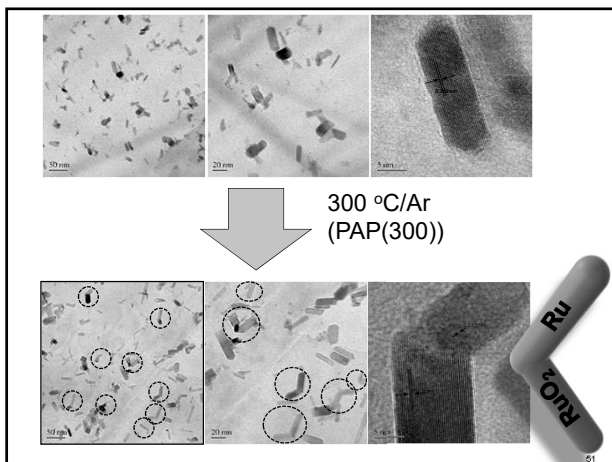
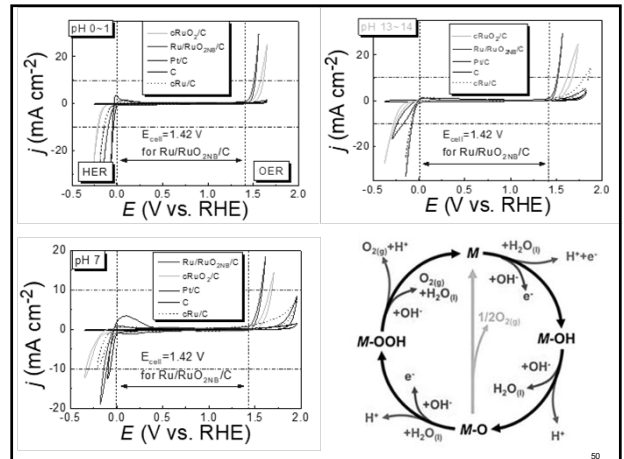
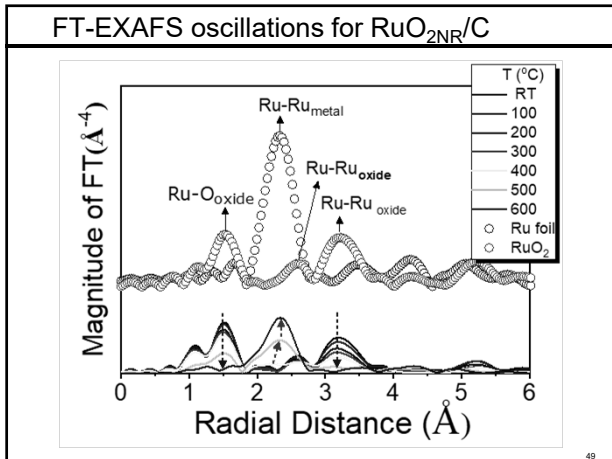
J.-L. Chen, S.-Y. Feng, C.-J. Luc and Jing-Fang Huang*, Chem. Eng. J., 2023, 468, 143761.



300 °C/Ar
(PAP(300))

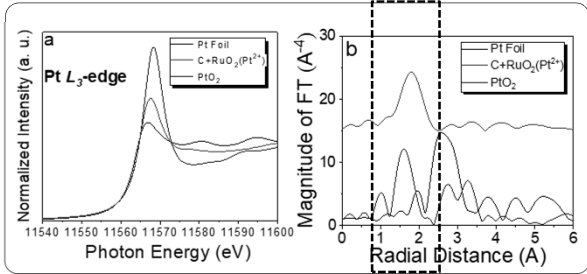






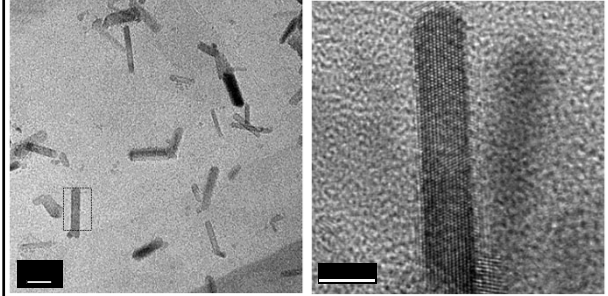
Pt L₃-edge XANES spectra and FT-EXAFS oscillations

Only Pt single atoms



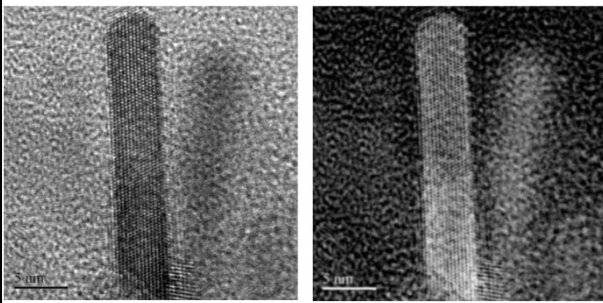
Jing-Fang Huang,* W.-J. Hsieh, J.-L. Chen, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2024, 16, 27504–27510

HR-TEM image of one Pt₁/RuO₂NR

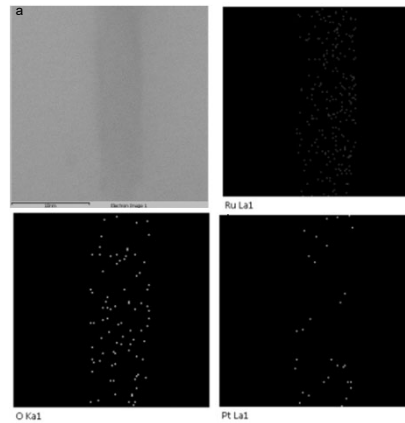


Jing-Fang Huang,* W.-J. Hsieh, J.-L. Chen, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2024, 16, 27504–27510

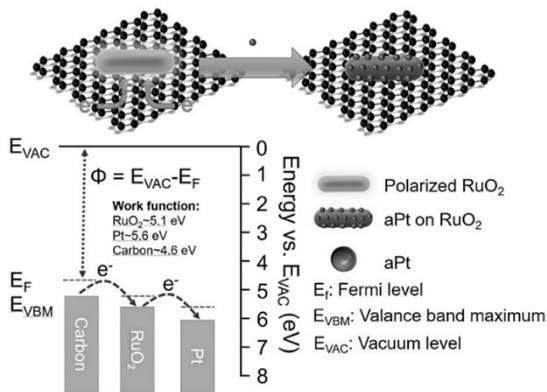
HR-TEM and HAADF images of one Pt₁/RuO₂NR



Jing-Fang Huang,* W.-J. Hsieh, J.-L. Chen, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2024, 16, 27504–27510

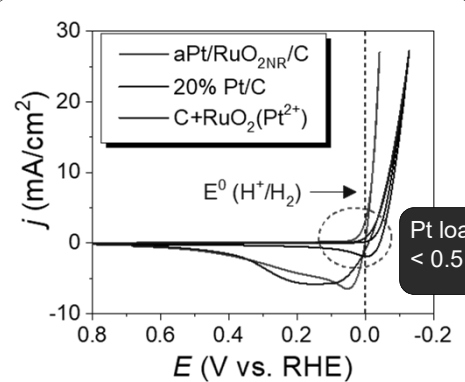


Jing-Fang Huang,* W.-J. Hsieh, J.-L. Chen, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2024, 16, 27504–27510



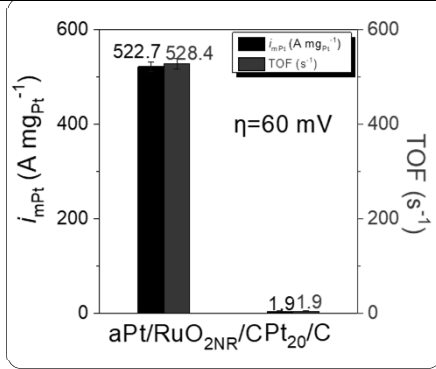
Jing-Fang Huang,* W.-J. Hsieh, J.-L. Chen, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2024, 16, 27504–27510

H-upd occurs on Pt single atoms on RuO₂ nanorod



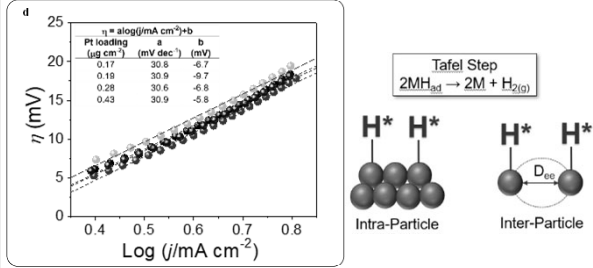
60

TOF is **280-fold** higher than that of commercial Pt/C

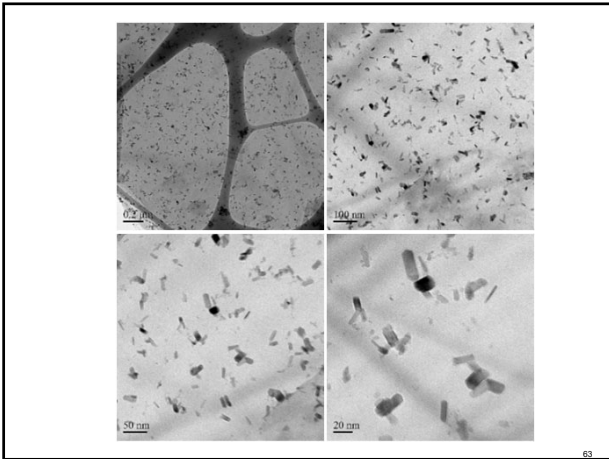


61

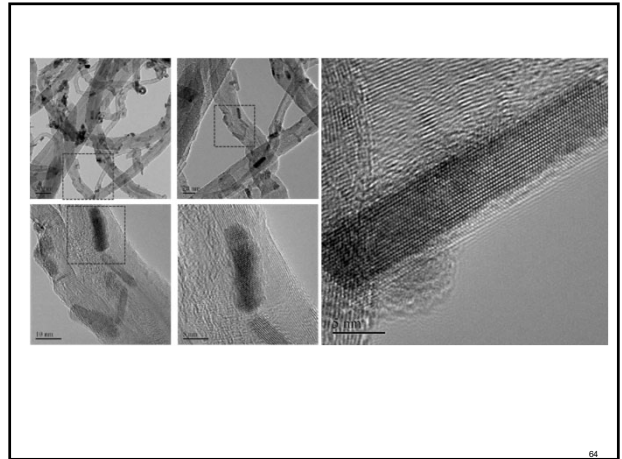
Shortening D_{ee} remains inter-Pt Tafel in ultra-low Pt usage



Jing-Fang Huang,* W.-J. Hsieh, J.-L. Chen, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2024**, 16, 27504–27510

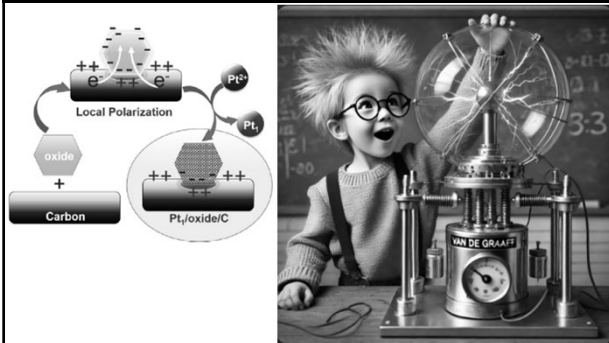


63



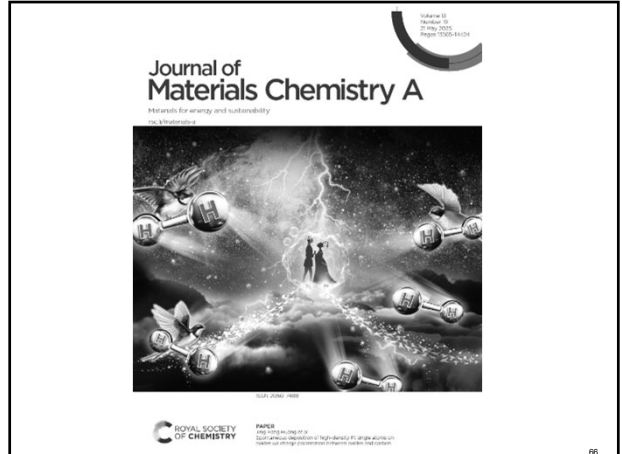
64

Spontaneous Deposition of High-Density Pt Single Atoms on Oxides via Charge Polarization between Oxides and Carbon (as the **Outside Front Cover**)

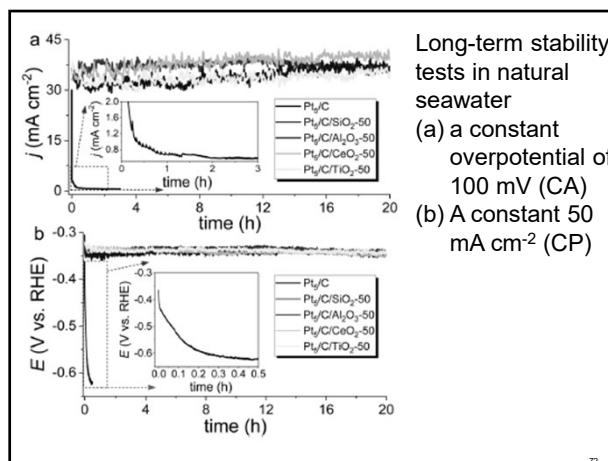
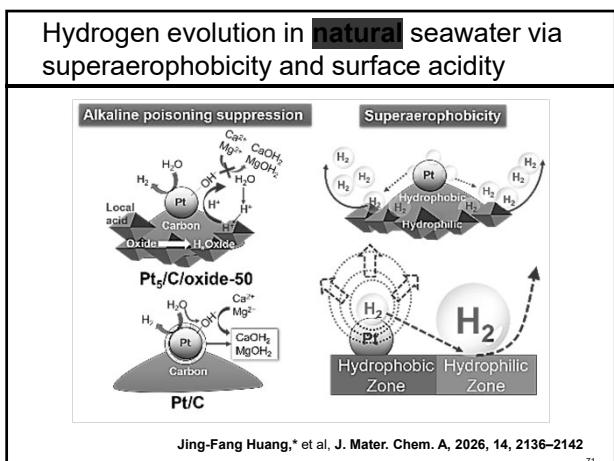
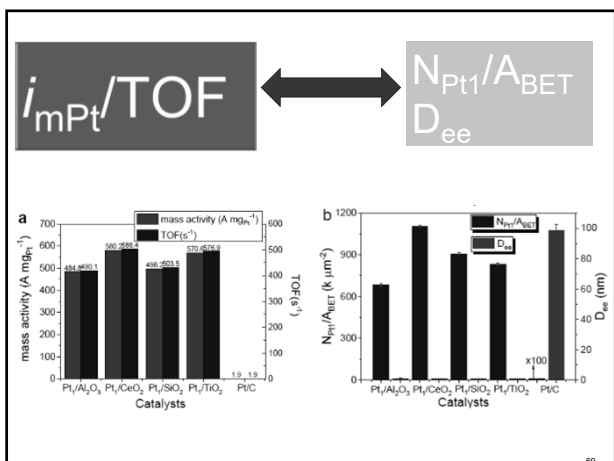
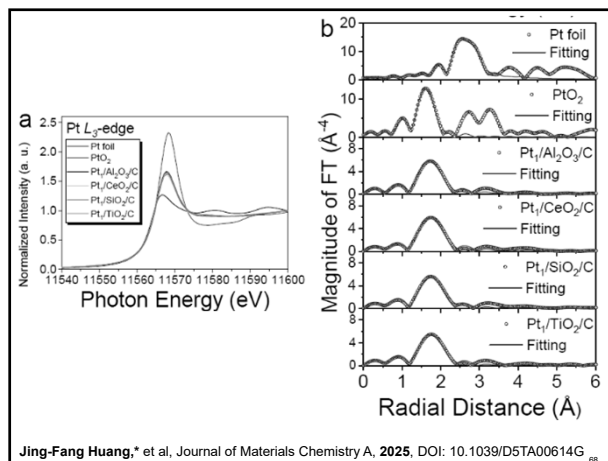
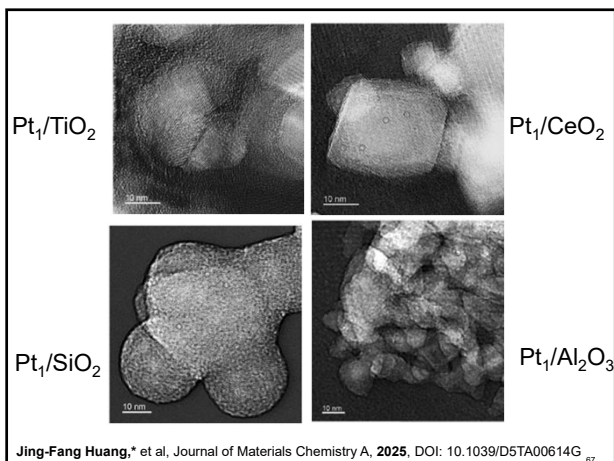


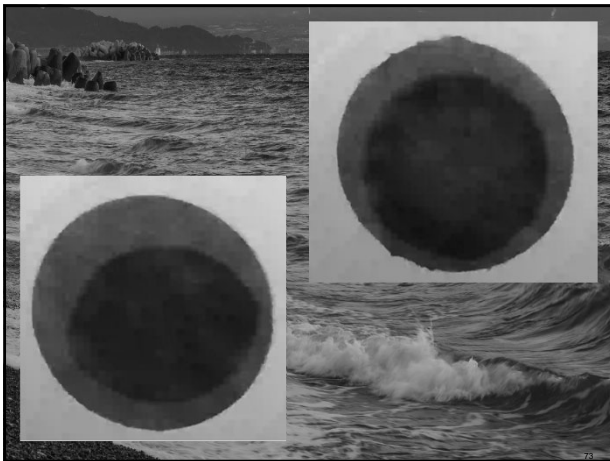
Jing-Fang Huang,* et al, *Journal of Materials Chemistry A*, **2025**, DOI: 10.1039/D5TA00614G

65



66





Conclusion

- **Thermostable carbon-supported subnanometer-sized (< 1 nm) Pt clusters with significantly enhanced activity and durability toward the HER.**
 - => **Finding New Inter-Particle Tafel Process**
- Janus Ru/RuO₂ Nano-Boomerangs on Carbon as pH-Universal Electrocatalysts with Bifunctional Activity toward the Hydrogen/Oxygen Evolution Reaction
- Carbon-Promoted Pt-Single Atoms Anchored on RuO₂ Nanorods to Boost Electrochemical Hydrogen Evolution
- Spontaneous Deposition of High-Density Pt Single Atoms on Oxides via Charge Polarization between Oxides and Carbon

Acknowledgements



議程二

從減塑到淨零-
共聚酯材料循環製程與
單一材質易回收產品的應用

主講人：

林哲增 經理
工業技術研究院材化所

主持人：

張鈞智 副教授/副院長
中國文化大學 化學工程與材料工程學系

工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

從減塑到淨零- 共聚酯材料循環製程與單一 材質易回收產品的應用



報告人:材化所高分子組, 林哲增 博士

115年3月26日

©ITRI. 工業技術研究院著作



個人簡歷

□姓名：林哲增

□學歷

- 2012~2017 國立臺灣大學高分子研究所 博士
- 2011~2012 國立臺灣大學高分子研究所 碩士

□經歷

- 2018~ 2024工業技術研究院材料與化工研究所 研究員
- 2025~工業技術研究院材料與化工研究所 技術經理

□現職

- 工研院材化所 高分子組 功能性材料合成與應用研究室 技術經理

□技術領域

- 聚縮合技術及材料應用(PET/TPEE彈性體/PEBA彈性體/生分解材料)
- 回收PET轉化高值聚酯材料技術

□得獎紀錄

- 2024年度工研院傑出研究獎、國家新創獎
- 2025年未來科技獎、德國紅點設計獎、中國材料科學學會優秀青年材料工程師獎

Outline

🌱 限塑、減碳與聚酯回收趨勢

🌱 循環聚酯轉化共聚酯材料技術

(I) 水性環氧樹脂市場與乳化劑轉化技術

(II) 聚酯彈性體市場與轉化技術及同材質易回收民生消費品應用

🌱 結論

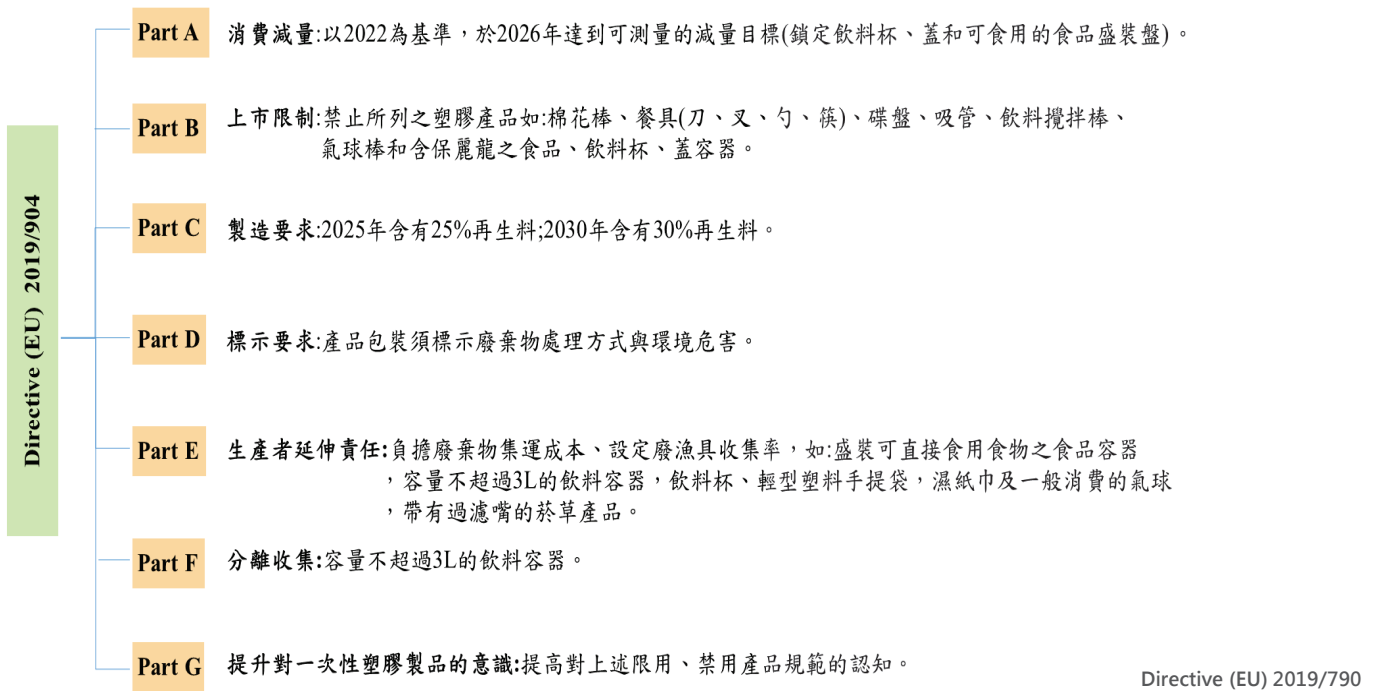
3

限塑政策



歐盟指令 Directive (EU)

- Part A 建議大宗使用的飲料杯、蓋與盛裝可直接食用食物之盤子，較難全面禁用，先以減量為主。
- Part B 針對一次性餐具、食品容器及保麗龍材料製得之食品、飲料容器和飲料杯、蓋提出禁用。
- Part C 是要求製造方須導入再生料打造產品。
- Part D-G 分別為提供標示，廢棄物分離收集及提升大眾相關意識與認知。



5

品牌商訴求

- 全球已有290品牌商於「全球新塑膠經濟承諾」(New Plastics Economy Global Commitment) 簽署，2025年將全面採用可重複使用、可回收、或生物可分解材料之塑膠包裝，達成新的塑膠循環，共同打造真正的循環經濟。
- 受到COVID-19 疫情影響及電商產業的崛起，擴大整個網購市場的規模，同時帶來新的包裝廢棄物問題，因此電商與外賣公司針對塑膠包裝的材料嘗試使用生物可分解或紙製品做為替代使用

公司名稱	減塑目標
雀巢	<ul style="list-style-type: none"> • 2019年2月起開始取消使用塑膠吸管 • 與美國的生物塑膠製造商Danimer Scientific合作，開發生物可分解塑膠瓶。 • 2030年實現100%碳中和
聯合利華	<ul style="list-style-type: none"> • 2025年將實現產品所用塑料包裝100%可回收、循環再利用或堆肥化。
Costco	<ul style="list-style-type: none"> • 在全美門市使用可堆肥塑膠吸管或紙吸管 • 在日本門市使用可堆肥分解的食品包裝 • 在韓國使用可堆肥分解的杯子和吸管
阿里巴巴、FedEx	<ul style="list-style-type: none"> • 承諾到2020年替換50%的包裝材料，填充物為100%可降解綠色包材。
亞馬遜	<ul style="list-style-type: none"> • 在亞馬遜網站售出的物品，環保宣傳都需要符合美國法律規定。「可堆肥分解」需要經過政府認可的第三方認證並符合國家標準。 • 2040年實現100%碳中和
Food panda	<ul style="list-style-type: none"> • 投資生物可分解塑膠製造商Bio-Lutions，為餐廳製造生物可分解塑膠包裝和餐具。

6

各國減碳目標

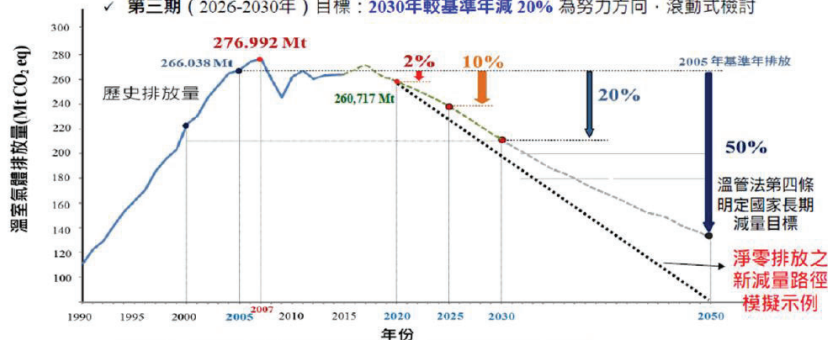
因應氣候變遷、暖化造成的危害，**聯合國氣候大會**呼籲應採取更為急迫之氣候行動，將全球溫室氣體排放量在2030年前減半，並在2050年達到淨零，方可將全球溫升控制在1.5°C以內。

歐盟 2030減碳55% 2050淨零排放	德國 2030減碳65% 2050淨零排放	法國 2030減碳40% 2050淨零排放	英國 2030減碳55% 2050淨零排放
韓國 2030減碳40% 2050淨零排放	澳洲 2030減碳35% 2050淨零排放	日本 2030減碳46% 2050淨零排放	

溫室氣體減量及管理法 (2015.07.01) **2050年減50%** → 氣候變遷因應法 (立法院三讀通過(112/1/10)) **2050年淨零排放**

國家溫室氣體階段管制目標規劃 (基準年西元2005年)

- ✓ 第一期 (2016-2020年) 目標：2020年較基準年減 2%
- ✓ 第二期 (2021-2025年) 目標：2025年較基準年減 10%
- ✓ 第三期 (2026-2030年) 目標：2030年較基準年減 20% 為努力方向，滾動式檢討



減碳法規

石化產業為供應下游產品所需的原材料，2021年國內產值上看1.8兆元¹，而在外銷比重高達40%的情況下，將面臨品牌商要求提供低碳材料壓力、國內碳費收取及歐盟即將實施的碳關稅等衝擊。



歐盟將碳關稅列為《綠色新政》十大施政之一，預計2026年正式啟動，初步鎖定高碳進口品，如鋼鐵、水泥、鋁製品、化肥和電子，正評估要擴大至有機化合物和聚合物(塑橡膠)等產品，進口商向歐盟購買「CBAM 憑證」，繳交進口產品碳排放量費用。



2023年1月立法院通過《溫管法》修正為《氣候變遷因應法》，於114年上路，徵收對象首先是年排放量逾2.5萬tCO₂e的「排碳大戶」，將直接對石化業者產生一筆額外支出成本。

9家頂尖公司領導者合作成立「Transform to Net Zero」



全球各大品牌商Adidas、Nike、星巴克、達能(法國食品)、賓士、快桅(丹麥航運)、威普羅(印度科技)、Natura & Co(巴西化妝品)提出於2050年實現100%碳中和的目標，並將壓力施加於材料供應鏈上。

1. 《產業》今年臺灣石化業產值上看1.8兆 成長逾4成-中時新聞

全球塑膠產業現況

- 2017年全球塑膠產量83億公噸，其中只有9%被回收再利用，12%為能源目的被焚化，79%被垃圾掩埋或非法傾倒。
- 一次性的塑膠產品是主要的污染源。
- 寶特瓶2021年使用量近6,000億，為十年前2倍，循環PET再利用成為全球重視的議題。



9

品牌商對於產品使用回收料需求

- 品牌主導的循環商業模式:要求供應鏈逐步導入回收料於產品中，以維持消費者對於塑膠的使用便利性，並兼顧對環境永續的承諾。



100% recyclable packaging

ZARA 100% of recycled materials
BOSS HUGO BOSS

Nike 25% of recycled materials

2020 adidas No virgin plastics and polyesters

2030

Apple 46% replacement of virgin materials

2025



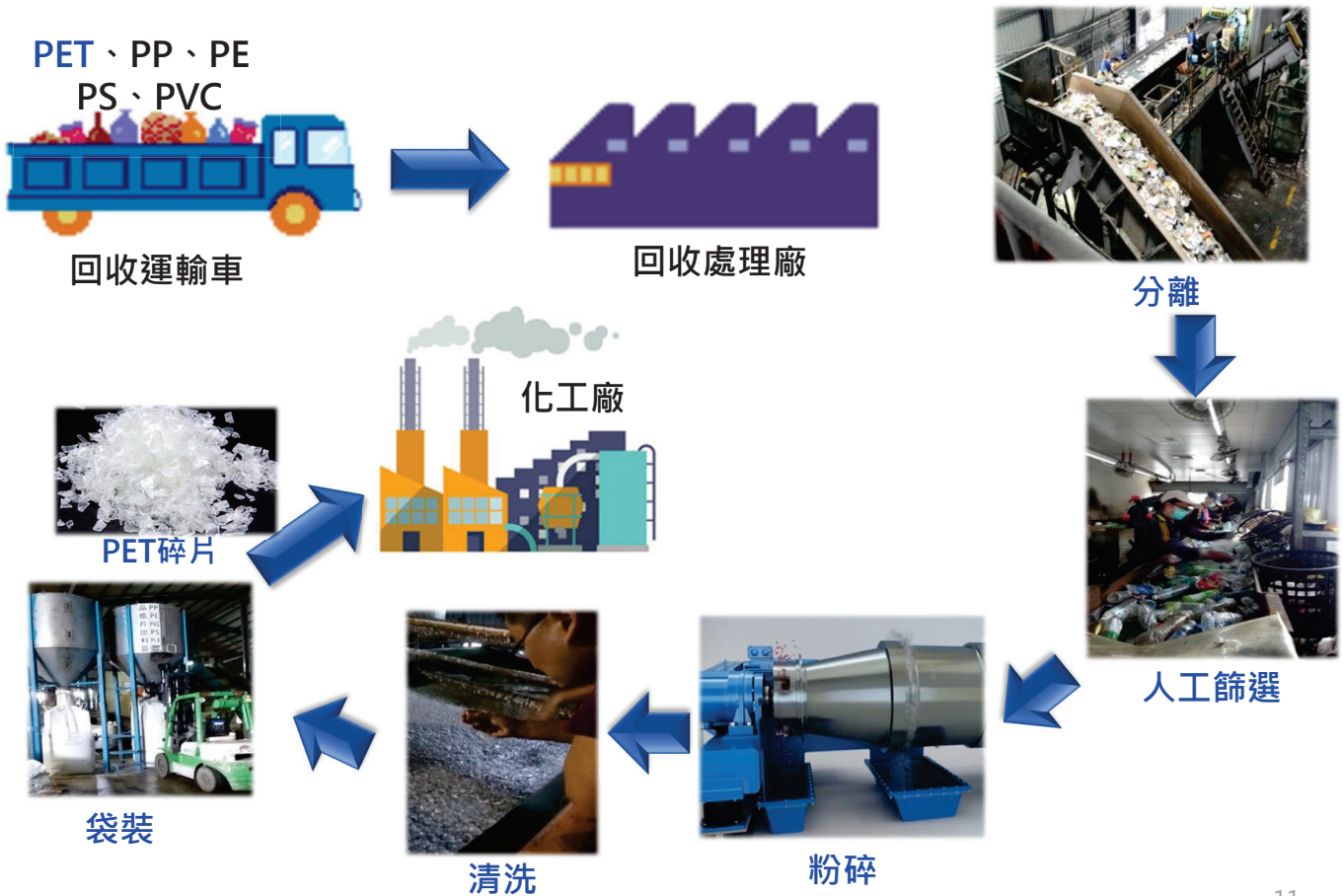
22% replacement in packaging



100% recycled or sustainable raw materials

10

回收後寶特瓶再製成碎片流程

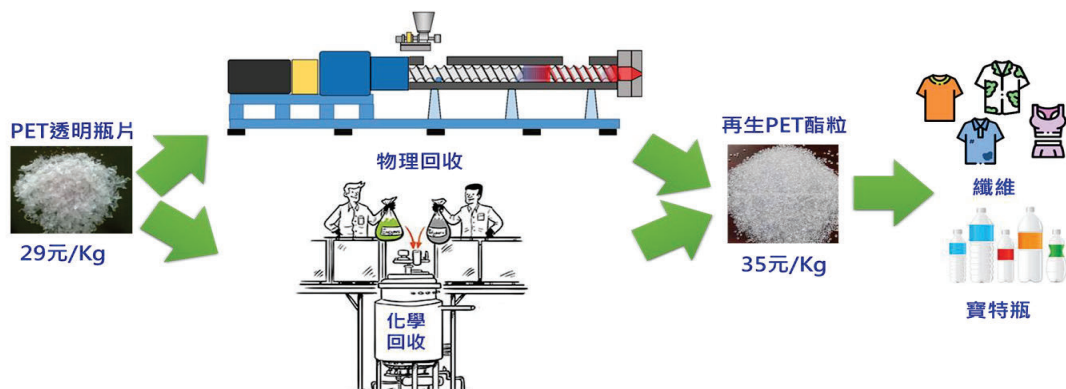


11

PET塑料回收

- 台灣透明PET瓶片每年有3-4萬噸的料源。
- 物理回收法以重新熔融造粒過程會有**熱裂解**、**熱氧化裂解**問題。
- 目前PET回收後，大多再重製為纖維或聚酯瓶。

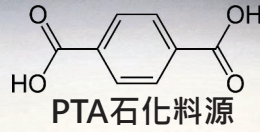
	透明PET(A)	透明PET(B)	綠色PET	透明沙拉油瓶	透明醬油瓶	其他雜料 平板片
價格 (元/公斤)	29	20	15	5-10	15	5~10
雜質 (ppm)	<500	>500	1000	-	-	8萬↑
應用	長纖	短纖	黑色短纖	黑色短纖、 填料	黑色短纖、 填料	填充料 焚燒掩埋



12

回收聚酯化學轉化技術

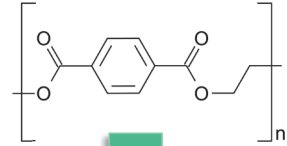
- 對苯二甲酸(碳排:1.76kgCO₂e/Kg)為許多高分子的原料，藉由回收PET取代(碳排:0.35kgCO₂e/Kg)，可減少材料碳排並提高經濟效益。



聚酯瓶片

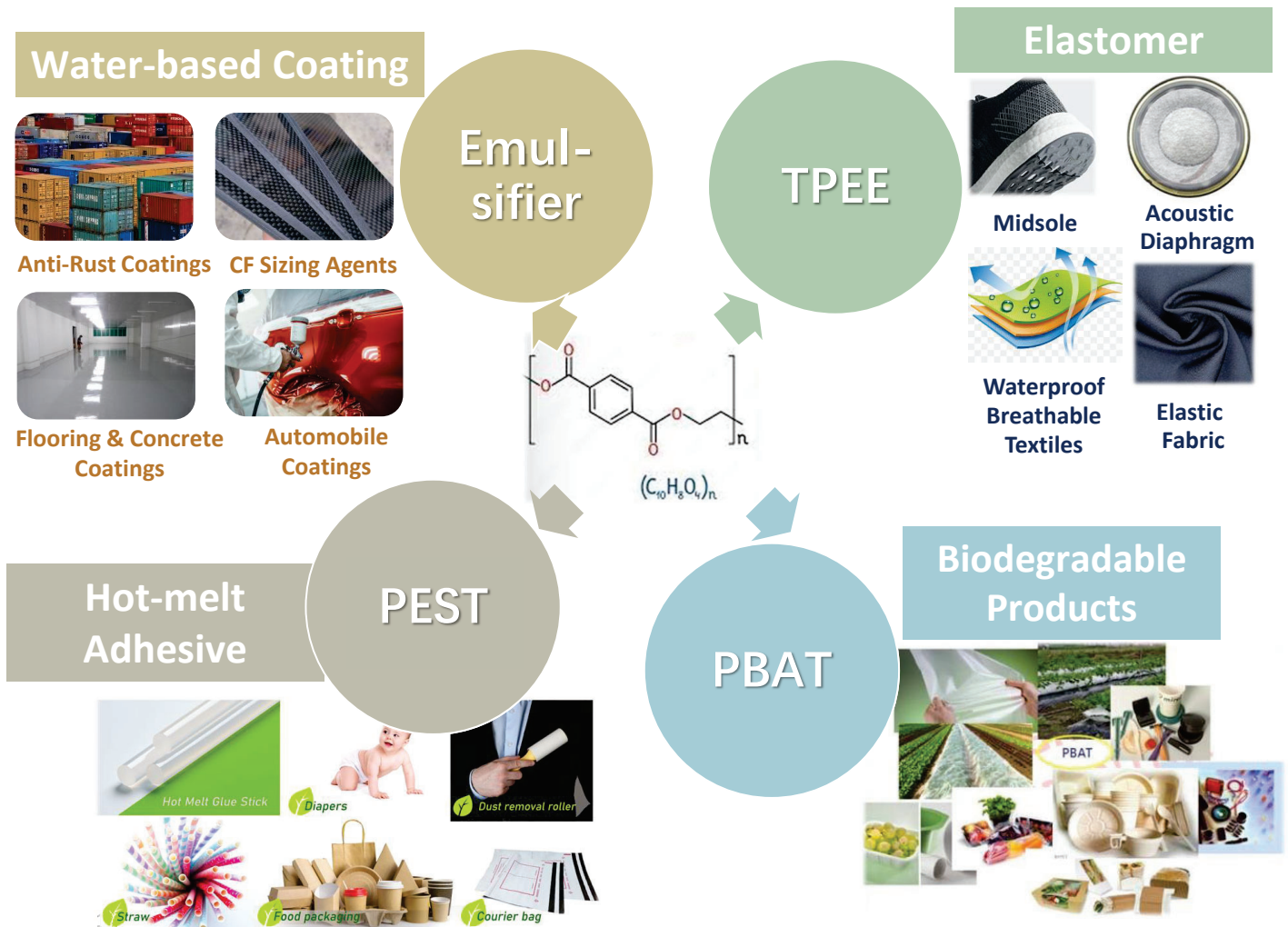
聚酯廢紗

聚酯廢膜



- 功能性聚酯再聚合
- 高值化應用開發

13



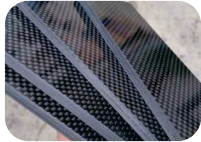
14

Emulsifier

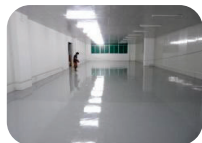
Water-based Coating



Anti-Rust Coatings



CF Sizing Agents



Flooring & Concrete Coatings



Automobile Coatings

水性環氧樹脂市場與應用

- 根據「Global Waterborne Epoxy Resins Market」報告，全球水性環氧樹脂市場規模在2030年可達130億美元，複合年均成長率(CAGR)達9%。
- 歐盟與中國對塗料VOC嚴格限制下，帶動水性環氧樹脂市場的提升。
- 由於水性環氧樹脂具有**高熱穩定性與耐磨耗性能**，使其可作為建築、汽車、紡織等工業終端用戶所使用的黏著劑。

表一、歐盟指令關於清漆和色漆 VOC 含量限量的要求

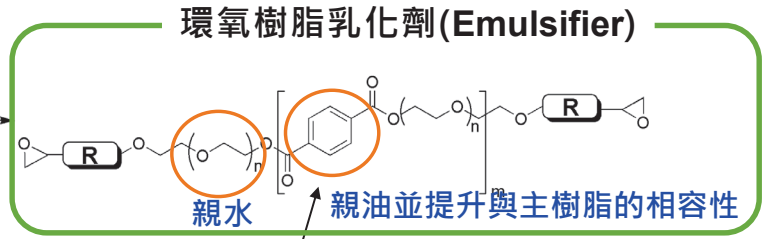
種類	類型/光澤範圍	VOC 含量最大限值(g/L)	
		第一階段 (2007 年)	第二階段 (2010 年)
內牆及天花板用塗料	水性塗料 光澤(60°)<25	75	30
	溶劑型塗料 光澤(60°)<25	400	30
	水性塗料 光澤(60°)≥25	150	100
	溶劑型塗料 光澤(60°)≥25	400	100
無機底材外牆塗料	水性塗料	75	40
	溶劑型塗料	450	450
室內外木器或金屬裝飾裝修用塗料	水性塗料	150	130
	溶劑型塗料	500	400
室內外透明漆和清漆; 半透明漆; 木器及金屬用木器着色料(Lasure)以及不透明木器着色料	水性塗料	150	130
	溶劑型塗料	500	400
室內外薄塗塗料	水性塗料	150	130
	溶劑型塗料	700	700



水性環氧樹脂技術開發

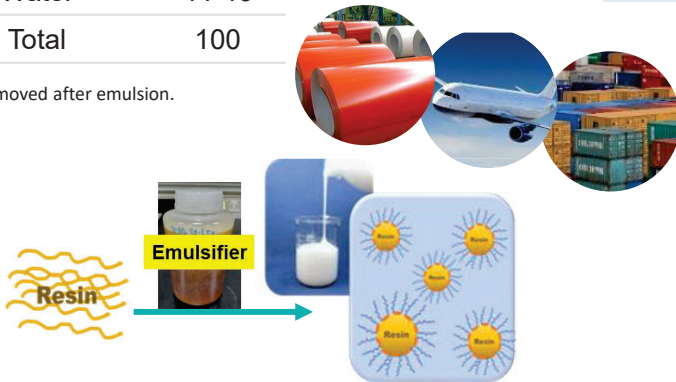
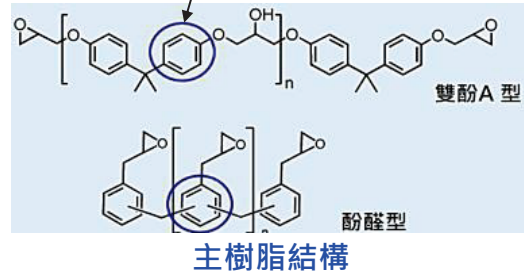


(1) depolymerization
 $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$
 (2) esterification
 $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$
 (3) modification



Waterborne Coating	
Solid Epoxy	38-42
Emulsifier	14-17
*Solvent	18-21
Water	44-46
Total	100

* Removed after emulsion.



	ITRI	Allnex
Solid content	55wt%	53wt%
Particle Size	320nm	530nm
Stability (in 50°C)	>7day	>7day

17

TPEE

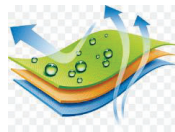
Elastomer



Midsole



Acoustic Diaphragm



Waterproof Breathable Textiles

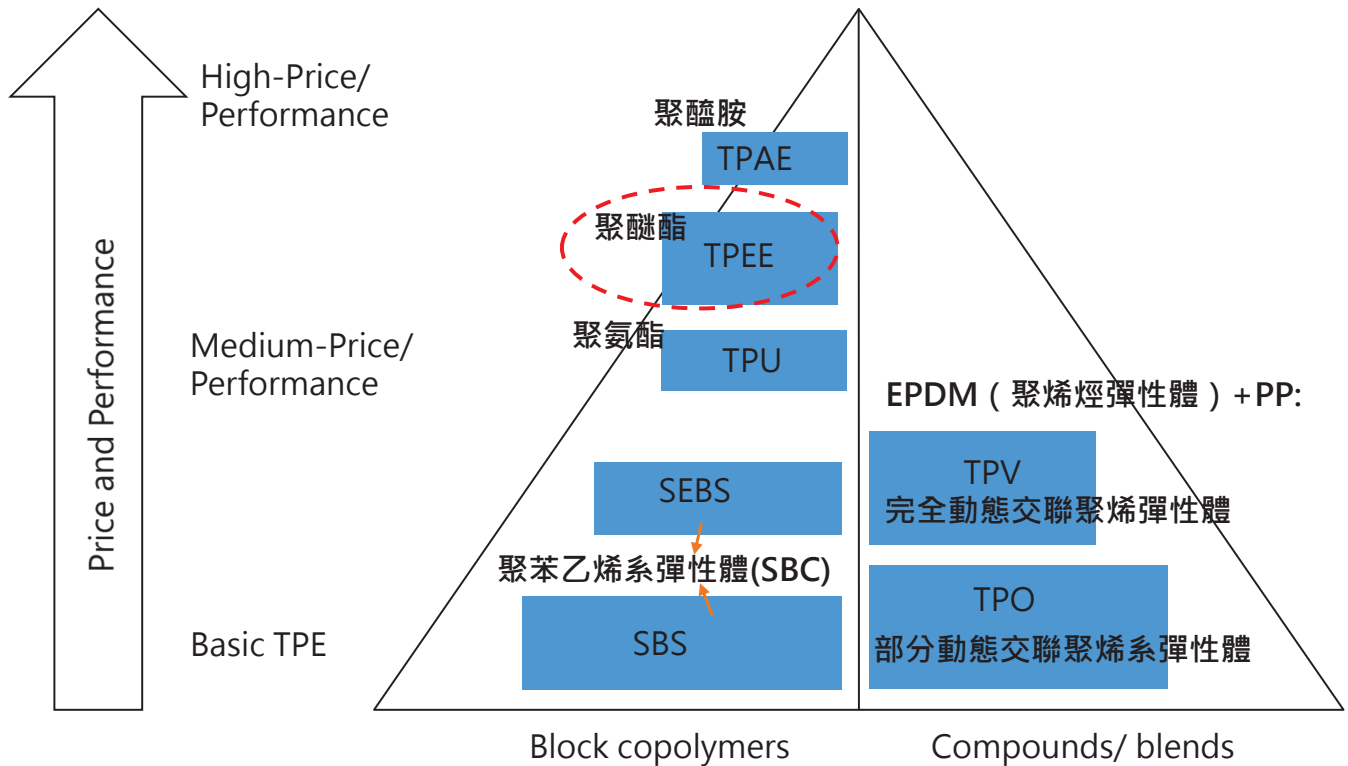


Elastic Fabric

18

熱塑性彈性體(TPE)定位

➤ TPE特性介於塑膠和橡膠之間，具有橡膠的彈性，可用傳統塑膠的熔融加工成型。



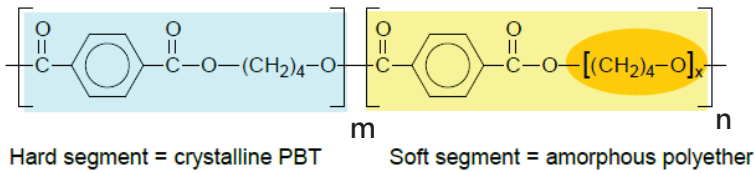
熱塑性聚酯彈性體(TPEE)之市場分析

- 全球TPEE市場達5.34%複合年成長率，2022年需求量55萬噸，產值15.2億美元。
- TPEE具有良好的機械性、工作溫度範圍廣，耐化學溶劑等優點，符合環境3R (reduce、recycle、reuse) 高值化材料，逐步取代金屬、木材及熱固性材料的應用。
- 歐美推動延伸生產者責任制度政策，以TPEE取代傳統熱固材與聚酯基材打造單一材質產品更有利回收，成為產業發展趨勢。



熱塑性聚酯彈性體(TPEE)結構組成與特性

➤ 杜邦(已被Celanese收購)、DSM商品料 ➤ 硬度規格30、40、55、63、72和82D



硬段結構

- 耐磨耗性質
- 耐化學溶劑
- 耐高溫特性
- 耐候性
- 機械強度

軟段結構

- 耐彎曲疲勞
- 耐低溫特性
- 高透濕度
- 彈性回復率
- 回彈率

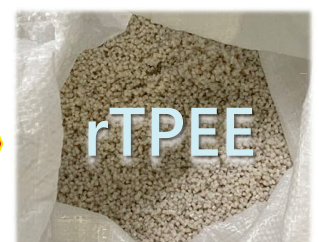
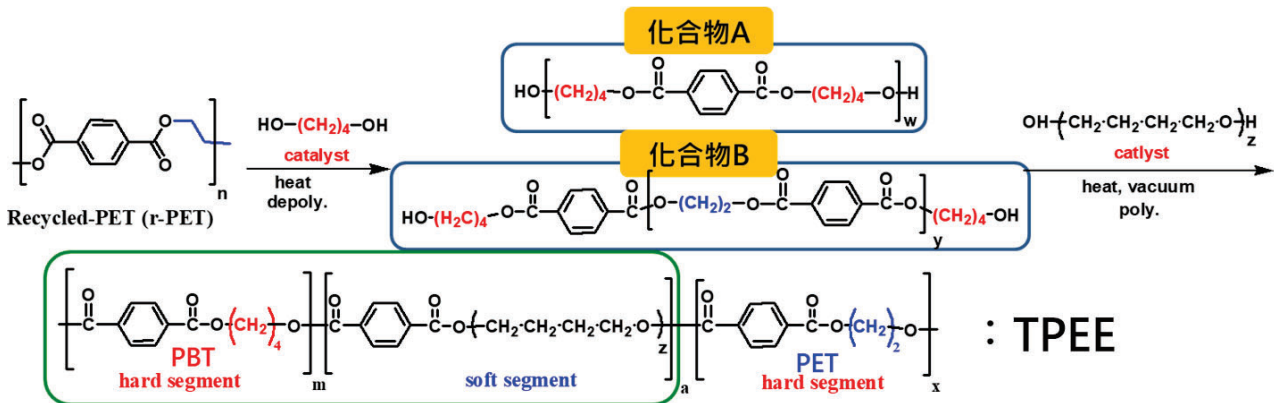
➤ 不同軟硬段組成，所形成「海（連續相）」與「島（分散相）」關係

低硬度(25D-40D)	中硬度(>40D-63D)	高硬度(72D-82D)
<p>結晶區 (硬段) 非晶區 (少數硬段 + 軟段)</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • 形態：硬段如節點分散連續相的軟段。 • 物理意義：分散硬段提供物理交聯點，具高回彈、高伸長率的特性。 	<ul style="list-style-type: none"> • 形態：雙連續相，兩者交織在一起。 • 物理意義：剛性與韌性平衡點，界面面積大造成遲滯損耗高，具吸震特性 	<ul style="list-style-type: none"> • 形態：軟段分散在連續相的硬段 • 物理意義：從「彈性體」變成「增韌塑膠，回彈率下降，剛性與耐熱性則大幅提升。

21

循環PET轉化TPEE合成技術

• 一鍋法精準解聚與彈性體聚合製程，減少PET殘留，維持與新料相近物性。



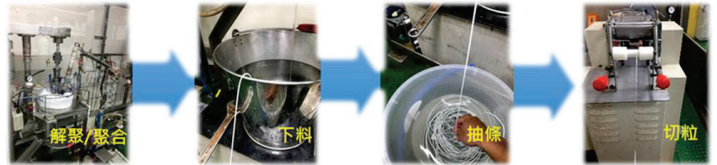
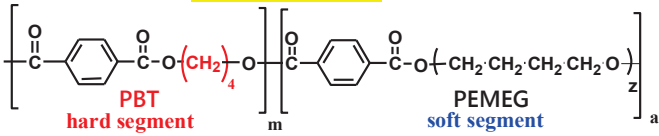
22

聚酯彈性體合成評估

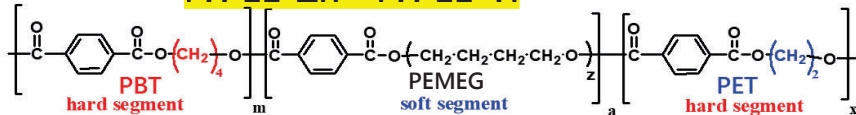
- Zn觸媒製得之rTPEE，受限觸媒活性，於高溫易造成材料裂解，性質變差。
- Ti觸媒易於熔體過水固化階段失去活性，因此可避免後續的副反應發生

	IV (dl/g)	解聚觸媒	硬度 (ShoreD)	抗張強度 (MPa)	斷裂延伸率 (%)	MI (g/10min)	m、a、x 之莫爾百分比 (NMR, %)
DSM-TPEE (原原料)	1.40	-	40	22.8	847	51	77.6 : 22.4 : 0
rTPEE-Zn (循環製程)	1.35	Zn	40	20.5	871	151	73.5 : 26.0 : 0.49
rTPEE-Ti (循環製程)	1.40	Ti	40	20.8	860	51	73.6 : 25.3 : 1.1

DSM-TPEE



rTPEE-Zn、rTPEE-Ti



23

rTPEE與聚酯全鞋

rTPEE原料試量產

全聚酯鞋材部件加工與組裝測試



一體化編織鞋面 (rPET/rTPEE= 80%/20%)

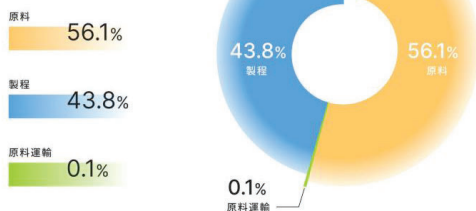


rTPEE大底



rTPEE彈性中底 (回彈~65%)

reTPEE CFP

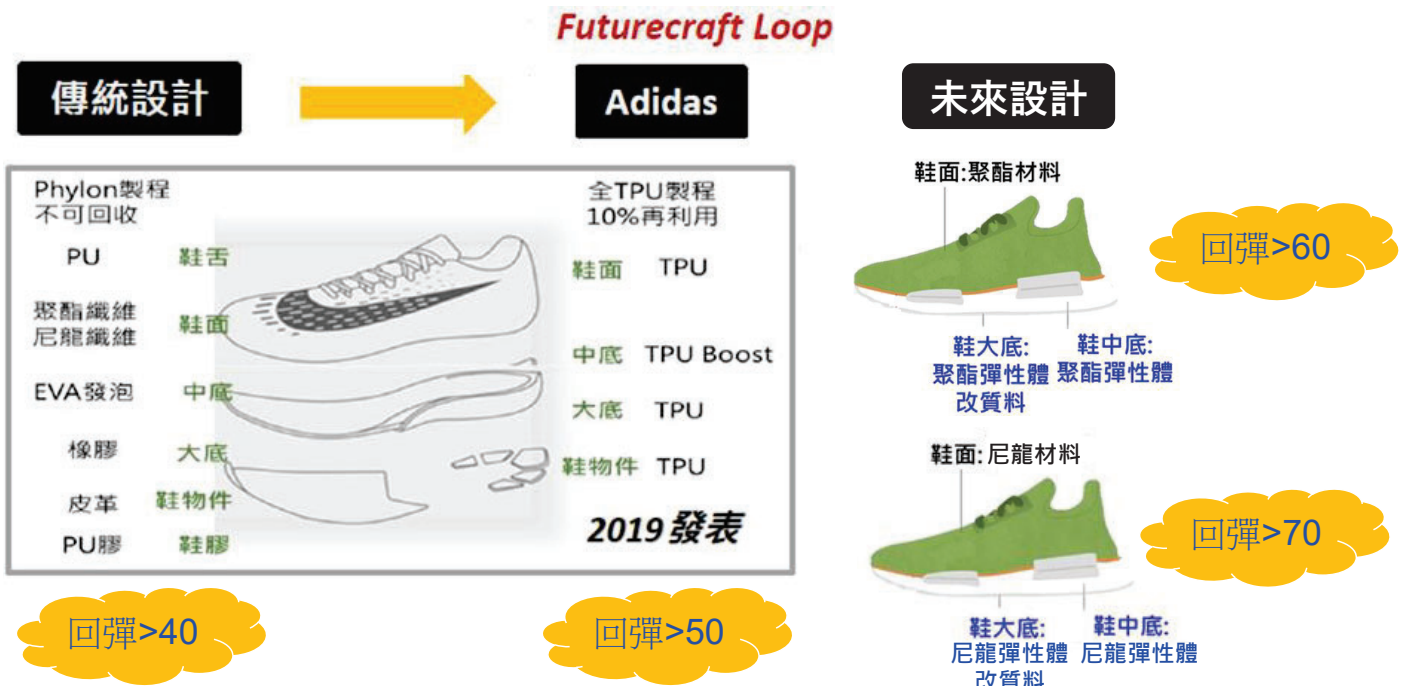


7.50 kg CO₂e/Kg rTPEE · 與virgin TPEE相比減碳~29%

24

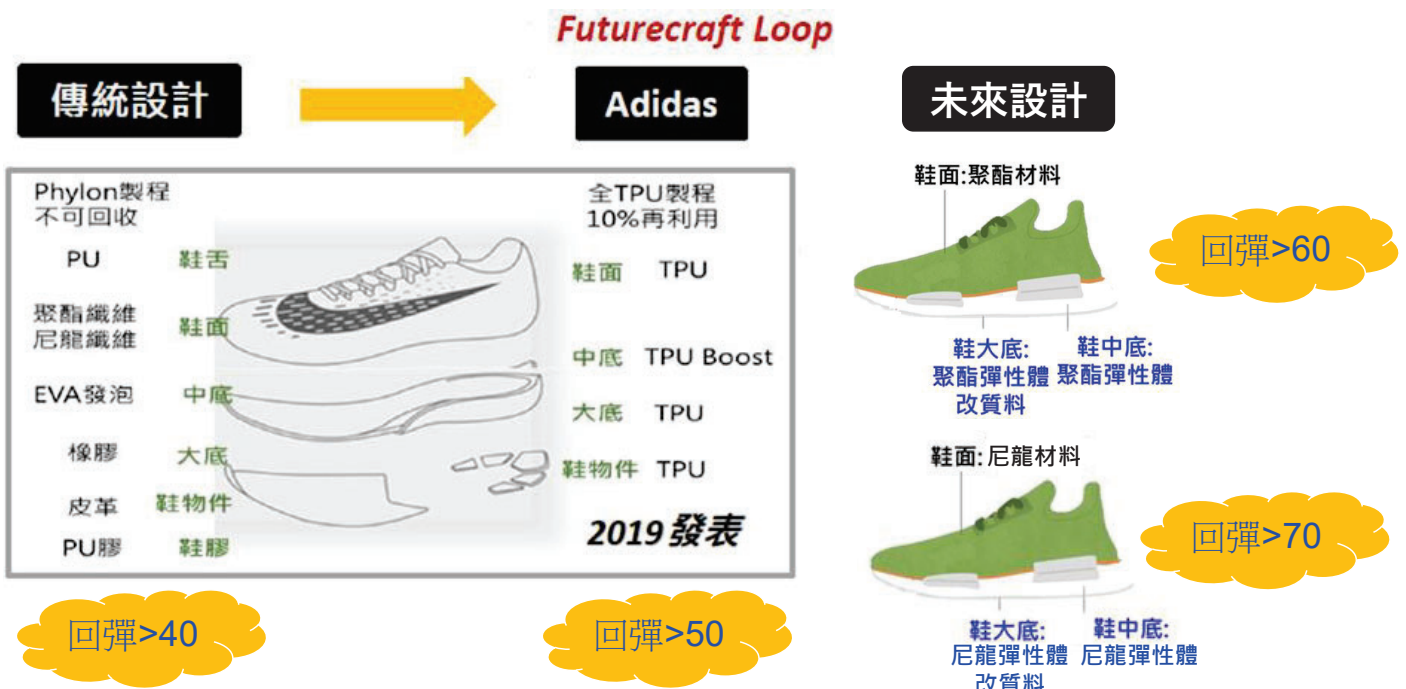
鞋材市場與應用分析

- 臺灣為製鞋重鎮，2022年全球銷售12億雙運動鞋，台商佔6成製造約7億雙。
- 臺灣每年丟棄一千萬雙鞋子，熱固材料及異材質組成廢棄多以焚化處理。
- 運動品牌商NIKE及Adidas產品要減少/停用原生塑膠，實現「終結塑料垃圾」目標。
- Adidas於2019年發表由全TPU組成的可循環跑鞋Futurecraft Loop，但耐候差，回收易裂解黃變，再利用比例僅10%(需添加90%新料)。



鞋材市場與應用分析

- 臺灣為製鞋重鎮，2022年全球銷售12億雙運動鞋，台商佔6成製造約7億雙。
- 臺灣每年丟棄一千萬雙鞋子，熱固材料及異材質組成廢棄多以焚化處理。
- 運動品牌商NIKE及Adidas產品要減少/停用原生塑膠，實現「終結塑料垃圾」目標。
- Adidas於2019年發表由全TPU組成的可循環跑鞋Futurecraft Loop，但耐候差，回收易裂解黃變，再利用比例僅10%(需添加90%新料)。



ZoomX Vaporfly 跑鞋

➤ Nike 2019推出 ZoomX Vaporfly 全新跑鞋，並伴隨著一個行銷口號，稱該鞋是「為打破紀錄而生的跑鞋」。當鞋款正式推出後.....

- 肯亞長跑選手Eliud Kipchoge突破全馬2小時的壁壘(1小時59分40秒)。
- 肯亞女將Brigid Kosgei在芝加哥馬拉松，將女子馬拉松世界紀錄擊破多達1分21秒(2小時14分04秒)。

田徑比賽跑鞋鞋底最大厚度修訂

賽事類型	鞋底最大厚度
田賽項目 (三級跳遠除外)	20 毫米
三級跳遠	25 毫米
徑賽項目 (包括跨欄及800米以下)	20 毫米
徑賽項目 (800米及以上，包括障礙賽)	25 毫米
田徑越野跑	25 毫米
道路賽事 (跑步和競走)	40 毫米



ZoomX Vaporfly鞋底厚度為 39.5 毫米

27

On (昂跑)創新鞋材銷售模式

MEN • SHOES

訂閱

Cloudneo

每月29.99 美元



- 重量：255公克
- 超過 90% 可回收，超過 50% 為生物基材料
- 無染料針織鞋面提供涼爽和支撐性
- Zonal Pebax® 大底可在乾燥瀝青上提供抓地力
- 最輕的泡沫—回彈率為 65%
- 98% 生物基針織鞋面可回收再利用

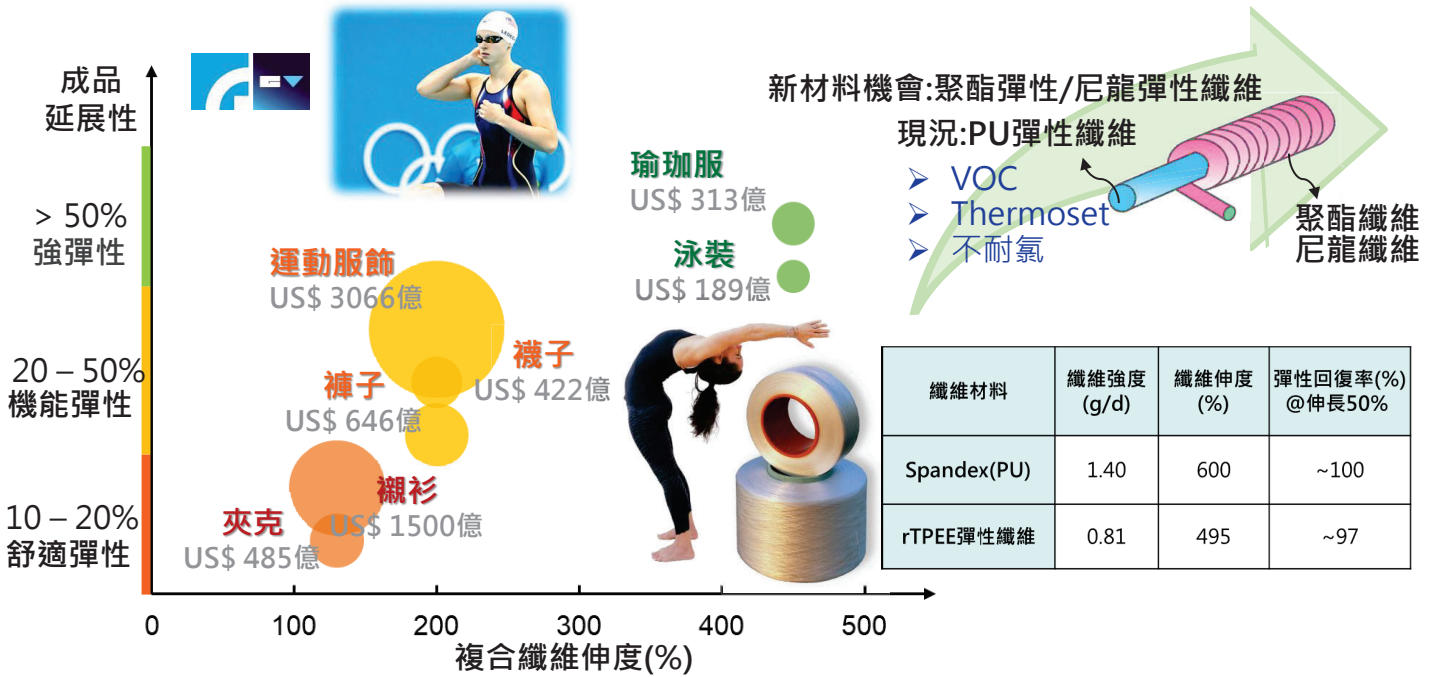
Roger Federer 目前為瑞士品牌 On (昂跑) 股東兼代言人

Cyclon™已在全球 34 個國家推出:安道爾、奧地利、比利時、保加利亞、加拿大、中國、塞浦路斯、捷克共和國、丹麥、愛沙尼亞、芬蘭、法國、德國、希臘、匈牙利、義大利、愛爾蘭、日本、拉脫維亞、立陶宛、盧森堡、馬耳他、摩納哥、荷蘭、波蘭、葡萄牙、羅馬尼亞、斯洛伐克、斯洛維尼亞、西班牙、瑞典、瑞士、英國和美國。

28

彈性纖維市場與應用分析

- 全球彈性纖維產值預計2026年達35億美元，需求量達62萬噸，將以年複合成長率7.1%成長;彈性織物會有1,200萬噸以上的需求量(3%~5%混紡比例計算)。
- 傳統PU彈性織加工需使用溶劑，碳排高達~11KgCO₂/Kg為聚酯熔融紡絲的13倍，與PET組成之機能聚酯彈性織物，因異材質組成且含熱固材料，使回收不易。



29

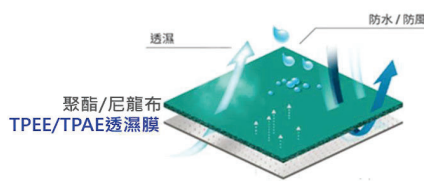
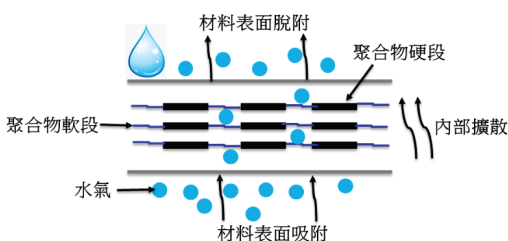
防水透濕膜市場與應用分析

- 防水透濕布料，能阻止液態水通過、防風、阻細菌，又可透過水蒸氣使人體維持舒適性，布料表面以材料塗佈或薄膜貼合加工而成。Grand view research指出2024年產值為20.3億美元，將以5.9%複合成長率成長。
- 全球防水透濕紡織品市場主要應用在戶外運動服飾布料(60%)，一般服裝及配件(16%)，防護衣(14%)及其他(10%)用布料。

疏水有孔型防水透濕膜 PTFE(gore tex)



親水無孔型防水透濕膜 TPU、TPEE、TPAE

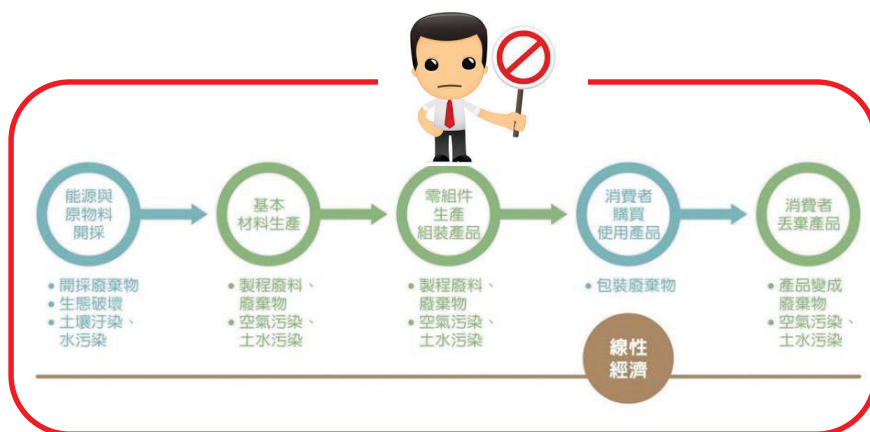


耐水壓 (mmH ₂ O)	抵抗能力	使用情境
0-5K	無防潮能力	小雨、乾雪、無壓力
6K-10K	小氣壓下防水防雨	小雨、中雪、小氣壓
11K-15K	防止高壓外的雨水	中雨、中雪、無壓力
16K-20K	防止高壓的雨水	大雨、濕雪、一定壓力
>20K	防止超高壓的雨水	大雨、濕雪、高壓

透濕率(g/m ² *24h)	透濕能力	適用活動
<5K	低	釣魚活動
5K-10K	中等	散步、觀光旅遊
10K-15K(親水無孔)	中高階	健走、背包旅遊
>20K(疏水有孔)	高階	跑步、登山

結論

- 國際品牌廠紛紛提出環保材料，以及減碳的時程表，**易回收綠色塑料**將是未來趨勢。
- 綠色塑料意指其起始料源是透過包含**循環、CO₂轉化或生質原料**所製得，相較於後兩者仍存在生產成本如何降低的挑戰，循環料源的回收技術較成熟。
- 藉由化學回收的優勢，可創造更好的塑料廢棄物回收再生後的價值。
- 透過分子結構設計與聚縮合改質技術，可將回收PET轉化**高值新材料**(如彈性體、生分解材料和分散劑)。



31

Thank You for
Your attention

議程三

From Molecules to Materials: Exploring
Green Chemistry through DFT Simulations

主講人：

李涵榮 助理教授

中原大學化學系

主持人：

雷健明 教授

中國文化大學 化學工程與材料工程學系

2026 綠能科技與材料論壇

From Molecules to Materials: Exploring Green Chemistry through DFT Simulations

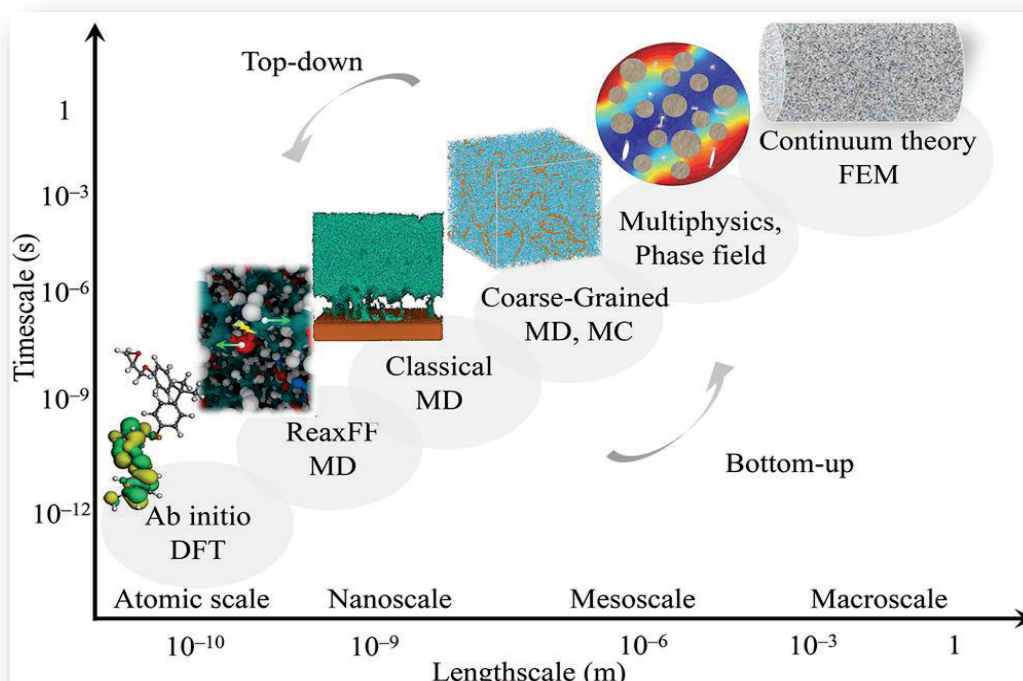
李涵榮

Chinese Culture University,
 Department of Chemical and Materials Engineering
 March 26th, 2026

1

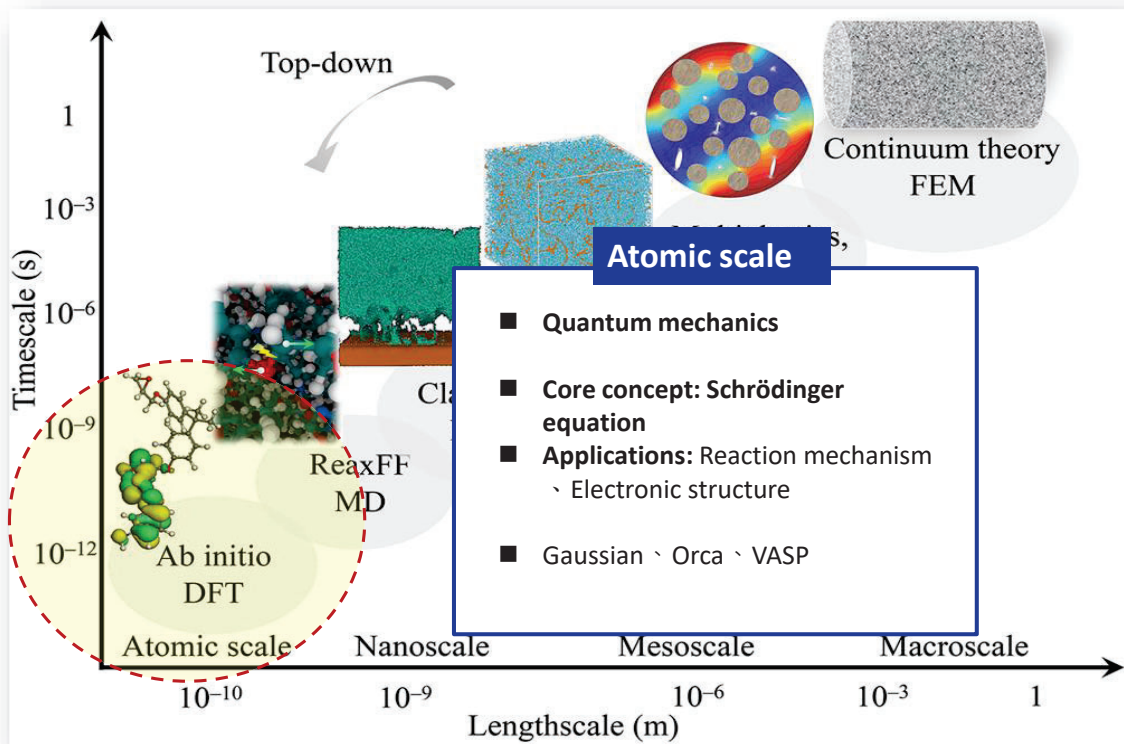
Research Interests

- Simulation:** A computational approach that employs **mathematical/physical** models to describe, analyze, and predict the structural, physicochemical, and dynamic behaviors of materials across multiple length and time scales.



2

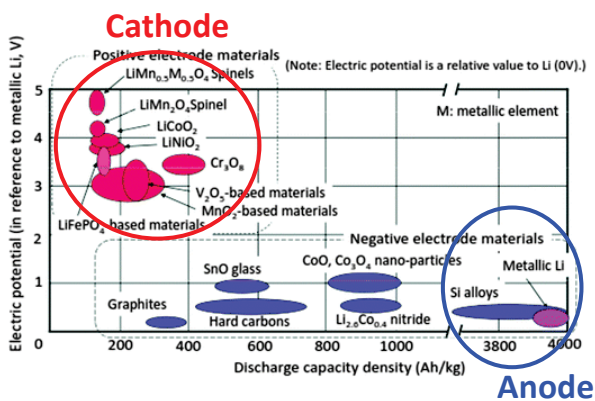
Research Interests



3

Research Interests

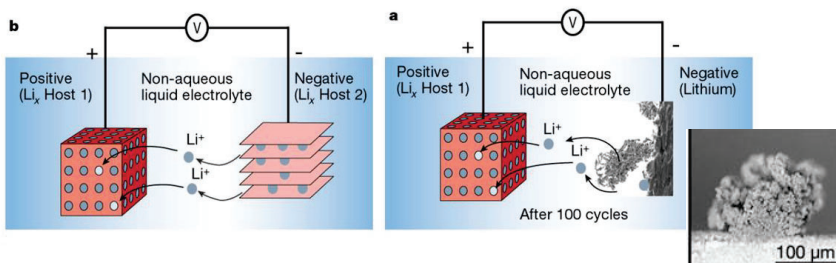
Screening of Lithium Metal Surface Additives for High-Energy-Density Lithium Batteries: Combining DFT Simulations and Machine Learning



Cathodes: layered transition-metal oxides
LiNiMnCoO₂ (NMC) or LiFePO₄ (LFP)

Anodes: graphite or Si-C composite

Li metal: highest capacity

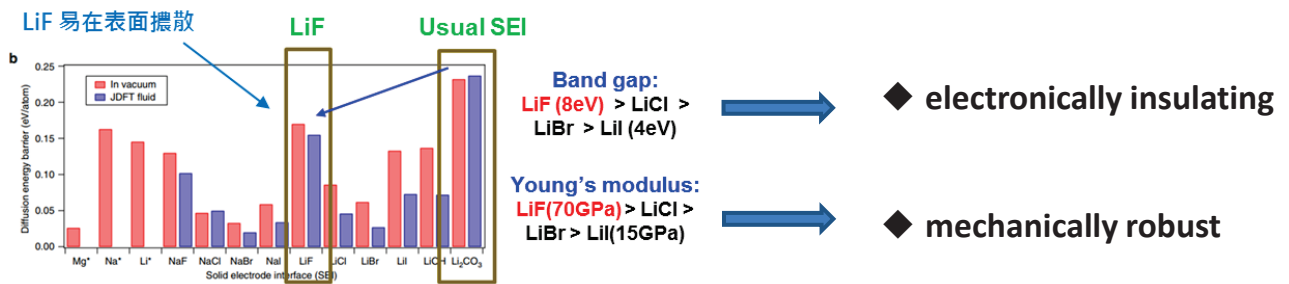
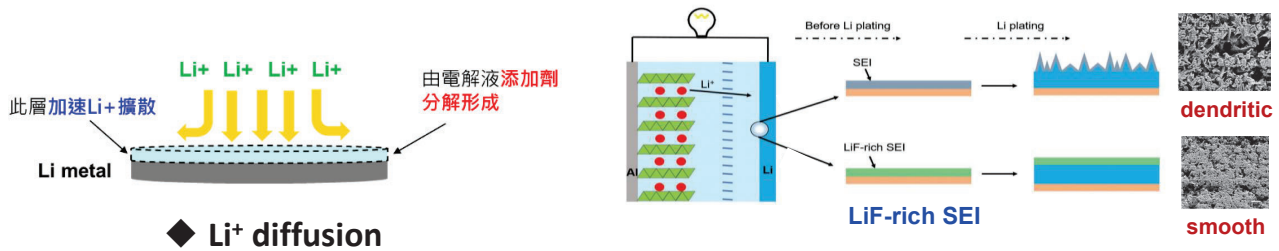


- ◆ Dendrite
- ◆ safety
- ◆ stability

4

Research Interests

Screening of Lithium Metal Surface Additives for High-Energy-Density Lithium Batteries: Combining DFT Simulations and Machine Learning



Archer et al. *Adv. Electron. Mater.* 2016, 2, 1500246

5

Research Interests

Screening of Lithium Metal Surface Additives for High-Energy-Density Lithium Batteries: Combining DFT Simulations and Machine Learning

Conclusion

1. A DFT + machine learning workflow was established, narrowing down **6000** → **600** → **1** fluorinated additives through geometric and electronic criteria.
2. **Electrochemical stability:** Additives with **low HOMO** (anti-oxidation) and **low LUMO** (preferential reduction) can form stable SEI layers on Li metal.
3. **Simulation–experiment agreement:** Predicted additives led to **smooth Li deposition** and longer cycling stability in experiments, validating the DFT-based design strategy.

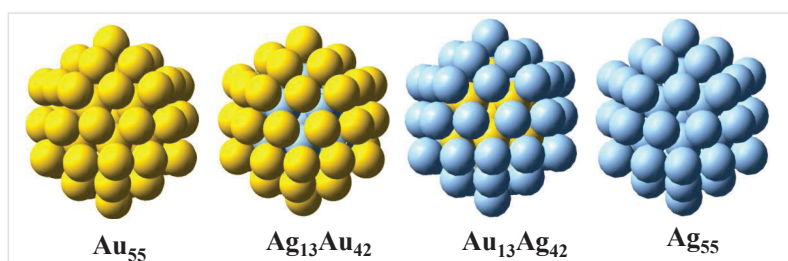
■ Accelerate materials screening/discovery via simulation-based design

6

Research Interests

Theoretical Calculations on the Oxidation of CO on Au_{55} , $\text{Ag}_{13}\text{Au}_{42}$, $\text{Au}_{13}\text{Ag}_{42}$, and Ag_{55} Clusters of Nanometer Size

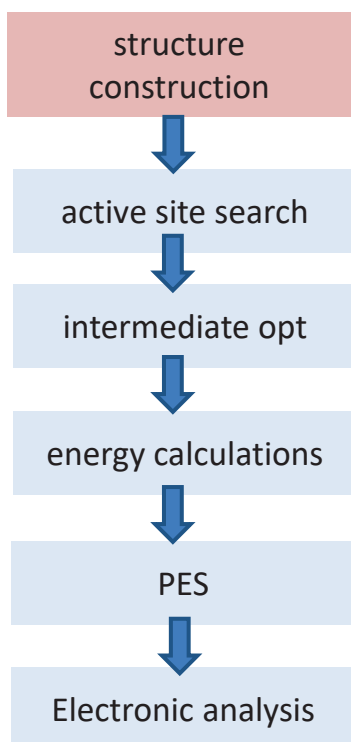
- **Environmental Protection:** Oxidizes toxic CO into less harmful CO_2 .
- **Automobile Emission Control:** Key reaction in three-way catalysts (TWC).
- **Energy & Industry:** Prevent catalyst poisoning.



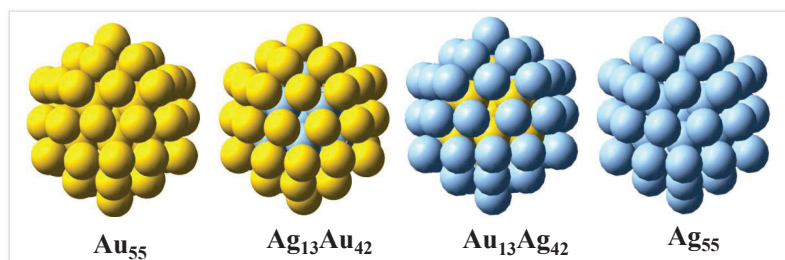
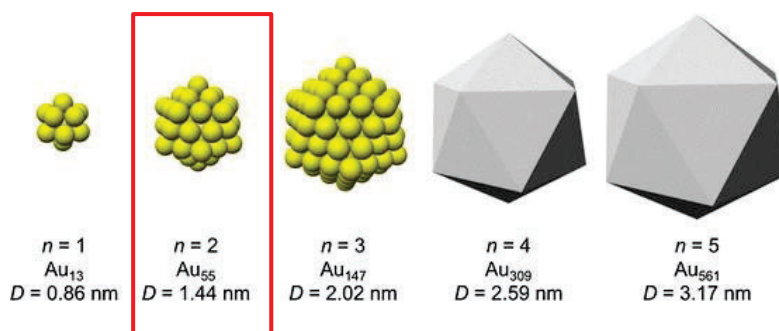
1. Electronic effect
2. Synergy Effect

J. Phys. Chem. C, 2012, 116, 13196.

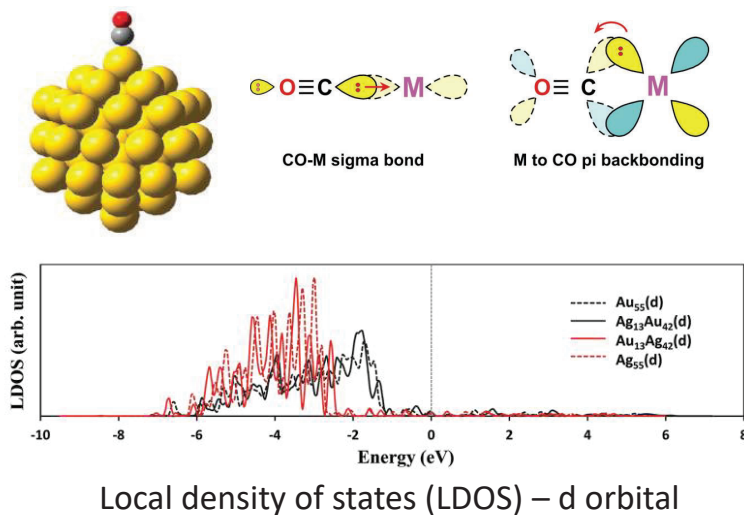
Research Interests



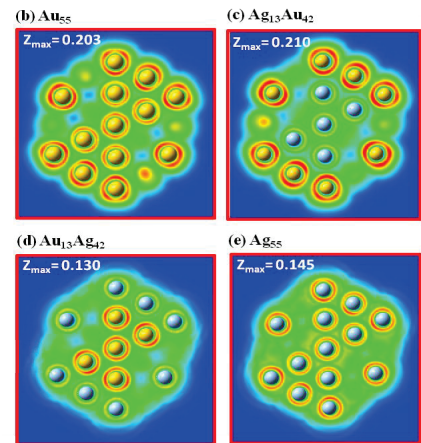
Icosahedral (ICO)



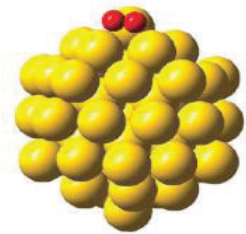
Research Interests



Electron localization function (ELF)



	Au ₅₅	Ag ₁₃ Au ₄₂	Au ₁₃ Ag ₄₂	Ag ₅₅
d-band center/eV	- 2.88	- 2.82	- 3.97	- 3.82
E _{ads} (CO)/eV	- 0.91	- 1.12	- 0.47	- 0.51
Z _{max} (shell)	0.203	0.210	0.130	0.145
E _{ads} (O ₂)/eV	- 0.39	- 0.29	- 0.97	- 0.75



Research Interests

Theoretical Calculations on the Oxidation of CO on Au₅₅, Ag₁₃Au₄₂, Au₁₃Ag₄₂, and Ag₅₅ Clusters of Nanometer Size

Conclusion

- Core-shell structures** can significantly **alter the electronic properties** of nanoclusters, thereby tuning the adsorption energies of CO and O₂.
- For the OCOO intermediate in CO oxidation, the core-shell structure facilitates O-O bond cleavage.
- Overall, core-shell structures regulate catalytic activity through electronic redistribution. **DFT simulations provide deeper insight into how different metals influence electron distribution, making core-shell design a key strategy for developing highly efficient catalysts.**

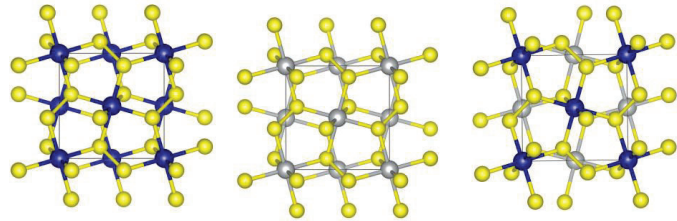
Guide experimental strategies using computational insights

Research Interests

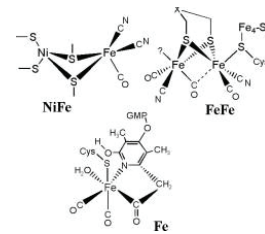
In Operando X-ray Spectroscopic and DFT Studies Revealing Improved H₂ Evolution by Metal Sulfite in the Alkaline Condition



Metal Sulfite (pyrite): NiS₂、CoS₂、Ni_{0.5}Co_{0.5}S₂



hydrogenase enzymes

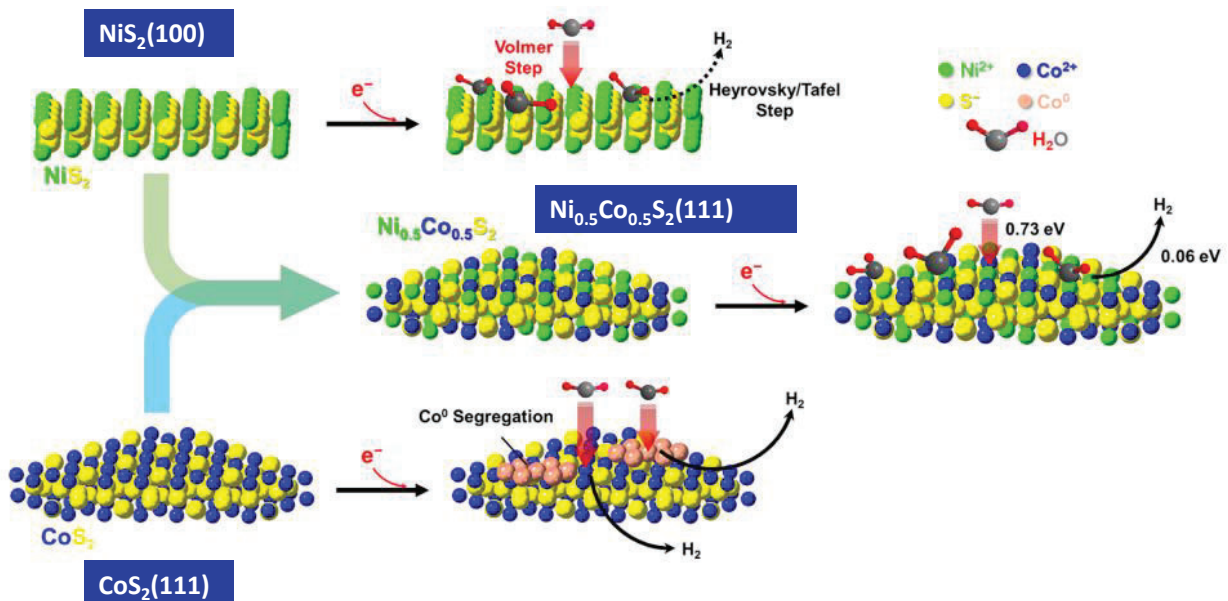


11

ACS Appl. Mater. Interfaces **2024**, *16*, 27329.

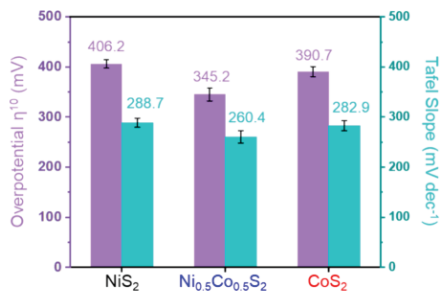
Advanced Science **2025**, *12*, 2411622.

Research Interests

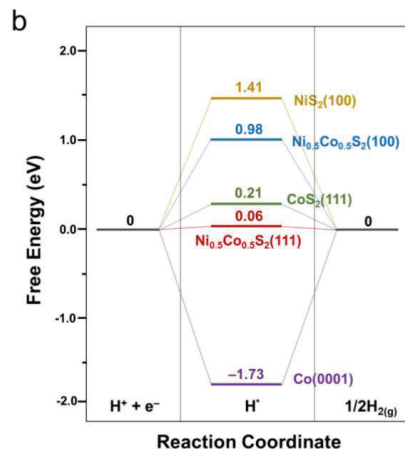
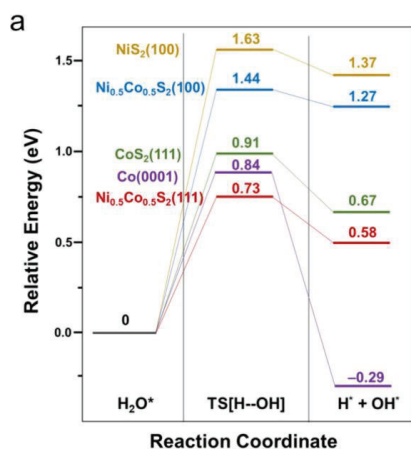
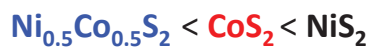


12

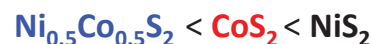
Research Interests



HER activity:



H---OH dissociation activity:



H₂ production activity:



13

Research Interests

In Operando X-ray Spectroscopic and DFT Studies Revealing Improved H₂ Evolution by Metal Sulfite in the Alkaline Condition

Conclusion

1. The calculated free energy profiles show that Ni_{0.5}Co_{0.5}S₂ **lowers the barriers for both H-OH dissociation** (Volmer step) and **H₂ formation** (Heyrovsky/Tafel step), consistent with the experimental observation.
2. For CoS₂, the **surface segregation** of metallic **Co** strengthens **H adsorption**, leading to surface poisoning.

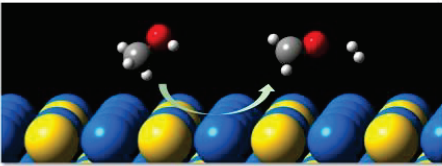
Explain experimental observations through simulations

Research Interests

Using microkinetic analysis to search for novel anhydrous formaldehyde production catalysts

Production of formaldehyde (CH₂O) attract considerable interests:

- raw material for production of plastics, resins, explosives, etc.
- Annual production of 2~3 x 10⁷ tons



Oxidative dehydrogenation



- produces H₂O
- removes H₂O costly
- azeotrope

Non-oxidative dehydrogenation



- ✓ produces anhydrous CH₂O

Surface. Science. **2015**, 641, 105. 15

Research Interests

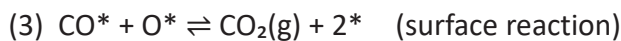
Microkinetic Modeling



$$r_1 = k_{1,f}P_{\text{CO}}(1 - \theta_{\text{CO}} - \theta_{\text{O}}) - k_{1,r}\theta_{\text{CO}}$$



$$r_2 = k_{2,f}P_{\text{O}_2}(1 - \theta_{\text{CO}} - \theta_{\text{O}})^2 - k_{2,r}\theta_{\text{O}}^2$$



$$r_3 = k_{3,f}\theta_{\text{CO}}\theta_{\text{O}} - k_{3,r}P_{\text{CO}_2}(1 - \theta_{\text{CO}} - \theta_{\text{O}})^2$$

where

$$k_{if} = A_i e^{-E_{a,i}/RT} ; \quad k_{ir} = \frac{k_{if}}{K_i}$$

From DFT calculation

$$A = \frac{k_B T}{h} e^{\frac{\Delta S^\ddagger}{R}}$$

- A_i: pre-exponential factor
- E_{a,i}: activation energy
- K_i: equilibrium constant

Site Balance & Steady-State Approximation

$$\theta_* + \theta_{\text{CO}} + \theta_{\text{O}} = 1$$

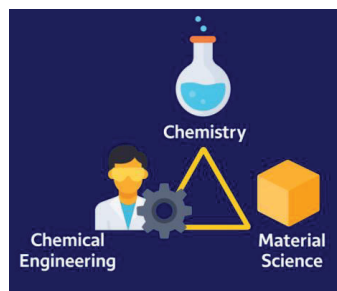
$$\frac{d\theta_{\text{CO}}}{dt} = 0, \quad \frac{d\theta_{\text{O}}}{dt} = 0$$

Conclusion

1. DFT simulations bridge theory and experiment:

- ◆ revealing reaction mechanisms and electronic properties
- ◆ guiding molecular design
- ◆ rationalizing experimental observation
- ◆ reducing experimental trial and error

2. Interdisciplinary Bridging Chemistry, Chemical Engineering, Materials Science, and Industrial Applications.



19

Acknowledgements



20

Thanks for Your attention

Q & A