

知識物件上傳表

計畫名稱：分散式生質廢棄物能源關鍵技術研發計畫

上傳主題：生物燃料電池陽極材料技術評析

提報機構：工業技術研究院 綠能與環境研究所

提報時間：106年3月8日

與計畫相關	☒ 1.是 ☐ 2. 否
國別	☐ 1.國內 ☒ 2. 國外：(歐美)
能源業務分類	☐ 1.總體能源 ☐ 2.化石能源 ☐ 3.電力 ☐ 3.核能 ☒ 4.新及再生能源 ☐ 5.節約能源
能源領域	☐ 1.政策與法規 ☐ 2.環境衝擊與調適 ☐ 3. 經濟及產業 ☒ 5.科技 ☐ 6. 統計資訊
決策知識類別	☐ 1.建言 (策略、政策、措施、法規) ☒ 2.評析(先進技術或方法、策略、政策、措施、法規) ☐ 3.標竿及統計數據：技術或方法、產業、市場等趨勢分析 ☐ 4.其他：
重點摘述	微生物燃料電池是一種透過細菌作為催化劑，將生質物直接轉化為電能的綠色能源轉化技術，其潛在發展的潛力引起各方關注。然而隨著材料科學和奈米技術的進步，三維電極材料成為 MFCs 陽極開發的新方向。三維陽極材料提供高表面積以及良好的生物相容性使細菌菌落有效定居，並可促進基質擴散，降低質傳阻礙，提高整體 MFCs 表現，而近年 MFCs 陽極材料發展趨勢則以非常規碳質材料為主 (包括不銹鋼、表面改性不銹鋼和石墨烯陽極)，目前選擇適當和有效的陽極材料促進電子從細菌到外部電路，仍是實現高性能 MFC 有待努力的核心目標。
詳細說明	微生物燃料電池 (Microbial fuel cells, MFCs) 是一種將「廢水處理」、「能量回收」與「生物代謝」相結合的綠色能源轉化技術，可透過細菌作為催化劑將生質物直接轉化為電能，其潛在發展的潛力引起各方關注。然而，微生物緩慢的催化作用和昂貴的材料建製成本限制了該技術商業化的應用。過去十年中，雖然 MFCs 有重大新發展，導致可實現的功率密度倍增，但仍然有相當大的可能性開發具成本效益的新材料並進一步改進其性能。 目前已知 MFCs 的陽極材料包括組成、結構和排列情形，對(a)細菌附著、(b)生物膜富集、(c)基質氧化和(d)微生物與電極間電子轉移扮演關鍵作用。因此，為了實現高性能的 MFCs，陽極材料需具備包括生物相容性、耐腐蝕性、低電阻和高電導率等特性，且還必須由化學穩定的材料製成，使其能夠在各式各樣可生物降解的廢水環境中操作。 在過去二十年來，幾種市售多孔碳材已被應用至 MFCs 的陽極上，包括碳布、碳紙、碳泡沫、石墨顆粒和活性碳等。這些多孔碳材由於高導電性，強生物相容性和好的機械強度，使 MFCs 具一定程度的性能表現，但此類材料受到材料內部微孔結構 (孔徑小於10μm) 的限制，使細菌生長空間有限，且細菌附著至材料上，也可能由於微孔內基質供應不足而導致死

亡，因而降低了生物膜的電催化活性。

隨著材料科學和奈米技術的進步，三維電極材料成為 MFCs 陽極開發的新方向。2007年，Logan *et al* 率先開發了具有三維結構的石墨纖維刷電極作為陽極，並使用單室、空氣陰極實現了2400 mW/m²的最大功率密度。三維陽極材料提供高表面積以及良好的生物相容性使細菌菌落有效定居，並可促進基質擴散，降低質傳阻礙，提高整體 MFCs 的表現(表1)。此外，適當陽極的表面改性也可增加電子從細菌轉移到陽極表面的速率。近期的研究更表明，表面改性不僅可提高了 MFCs 系統的性能，且可減少 MFCs 的啟動時間 (Luo *et al*, 2013)。

表1 近5年各種三維碳陽極應用於 MFC 系統之表現。

(Sonawane *et al*, 2017)

Carbon based anode					Performance			Reference
Anode	Cathode	System architecture	Source of inoculation	Substrate	Anode surface area (cm ²)	I max (A/m ²)	Pmax (mW/m ²)	
Layered corrugated carbon	NA	Three-electrode cell	Primary wastewater	Artificial wastewater	26.52	390 ^a	NA	(Chen et al., 2012b)
3D carbon material	NA	Electrochemical cell	Domestic wastewater	Acetate substrate	5.11	25.3	NA	(Chen et al., 2012b)
Three-dimensional carbon fibre	NA	Electrochemical cell	Wastewater	Artificial wastewater	NA	30	NA	(Chen et al., 2012b)
Graphite rod	NA	Three-electrode half cell	Domestic wastewater	Artificial wastewater	11.5	5.17	NA	(Liu et al., 2010)
Polycrystalline carbon rod	NA	Three-electrode half cell	Domestic wastewater	Artificial wastewater	15	4.96	NA	(Liu et al., 2010)
Carbon fibre veil	NA	Three-electrode half cell	Domestic wastewater	Artificial wastewater	12	7.05	NA	(Liu et al., 2010)
Graphite foil	NA	Three-electrode half cell	Domestic wastewater	Artificial wastewater	15	0.07	NA	(Liu et al., 2010)
Polycrystalline carbon rod	NA	Three-electrode half cell	Domestic wastewater	Artificial wastewater	15	9.21	NA	(Liu et al., 2010)
Glassy carbon rod	NA	Three-electrode half cell	Domestic wastewater	Artificial wastewater	3.18	2.5	NA	(Liu et al., 2010)
Carbon paper	NA	Three-electrode half cell	Domestic wastewater	Artificial wastewater	7	12.58	NA	(Liu et al., 2010)
Interlacing carbon yarn	Air cathode	Single chamber dual cathode	Distillery wastewater	Distillery wastewater	1018	18.15	364	(Sonawane et al., 2014)
Interlacing carbon yarn	Air cathode	Single chamber dual cathode	Domestic WW	Domestic WW	1018	22.04	621	(Sonawane et al., 2014)
King mushroom carbon	NA	Mini glassy bioreactors	Sewage treatment plant	Acetate media	0.25	20.9	NA	(Karthikeyan et al., 2015)
Wild mushroom carbon	NA	Mini glassy bioreactors	Sewage treatment plant	Acetate media	0.25	30.2	NA	(Karthikeyan et al., 2015)
Corn stem carbon	NA	Mini glassy bioreactors	Sewage treatment plant	Acetate media	0.25	31.2	NA	(Karthikeyan et al., 2015)
Rotating carbon brush	Carbon cloth	Tubular MFC	Wastewater effluent	Acetate media	60 ^b	945 ^c	210 ^d	(Liao et al., 2015)
Carbon nanofiber	Gold foil	Micro-litre size MFC	Primary clarifier influent	Acetate mineral media	0.28	0.083	22,000	(Fraivan et al., 2014)
Carbon nanotube	Gold foil	Micro-litre size MFC	Primary clarifier influent	Acetate mineral media	0.28	0.0234	49,000	(Fraivan et al., 2014)
Carbon paper	Gold foil	Micro-litre size MFC	Primary clarifier influent	Acetate mineral media	0.28	0.096	10,000	(Fraivan et al., 2014)
Activated carbon granules	graphite plates	fluidized capacitive system	Influent from enriched MFC	Acetate phosphate buffer	11	1.3	NA	(Deeke et al., 2015)
Carbon mesh anodes	Activated carbon	Single chamber	Domestic wastewater	Acetate phosphate buffer	7	NA	1330	(Zhang et al., 2013a, b)
Multi-brush anode	Air cathode	Single chamber	Effluent from MFC	Acetate media	8	4.2	1200	(Lanas and Logan, 2013)
Porous carbon with a defined pore size	Air cathode	Single chamber	<i>Escherichia coli</i>	Glucose phosphate-buffered basal medium	9	13.4	1606	(Chen et al., 2015)
Granular activated carbon particles	Air cathode	Dual chamber	Effluent from MFC	Acetate media	10	2.6	951	(Liu et al., 2014)
Tubular bamboo charcoal	Carbon cloth	Tubular two chamber MFC	Effluent from enriched MFC	Synthetic media	NA	NA	1652	(Zhang et al., 2014)

^a Six corrugated layered anode.

^b Cathode surface.

^c A/m³.

^d W/m³.

近年材料發展趨勢如圖1所示 (Sonawane *et al*, 2017)，大致可分為四類，碳陽極 (carbon-based anodes)、碳複合陽極 (carbon-based composite anodes)、表面金屬改質陽極 (surface modified metal-based anodes)以及金屬

陽極 (metal based-anodes)。這些電極材料各具其優點與缺點，值得注意的是，不同於過往最近對於非常規碳質材料的研究正急速增加。這種新型的碳質陽極包括不銹鋼、表面改性不銹鋼和石墨烯陽極，但選擇適當和有效的陽極材料促進電子從細菌菌落轉移到外部電路，仍是目前實現高性能MFCs有待努力的核心目標。

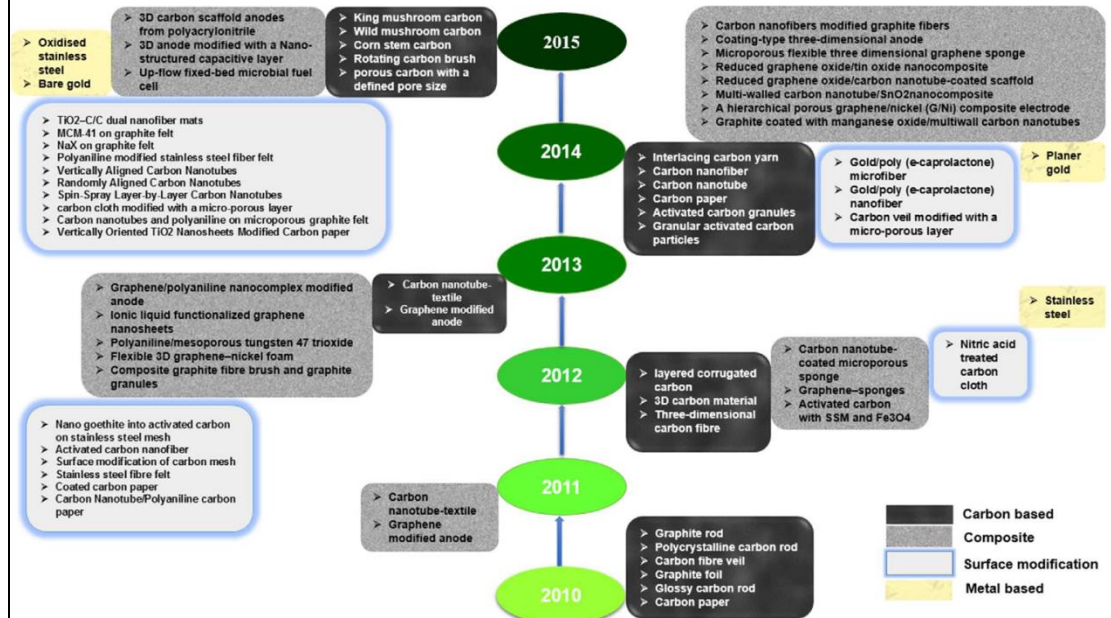


圖1 近年生物燃料電池陽極材料發展趨勢。

參考資料

- ◆ Logan, B., Cheng, S., Watson, V., Estadt, G., 2007. Graphite fiber brush anodes for increased power production in air-cathode microbial fuel cells. Environ. Sci. Technol.41, 3341–3346.
- ◆ Luo, J., Chi, M., Wang, H., He, H., Zhou, M., 2013. Electrochemical surface modification of carbon mesh anode to improve the performance of air-cathode microbial fuel cells. Bioprocess Biosyst. Eng. 36, 1889–1896.
- ◆ Sonawane, J.M., Yadav, A., Ghosh, P.C., Adelojua, S.B., 2017. Recent advances in the development and utilization of modern anode materials for high performance microbial fuel cells Biosensors and Bioelectronics 90, 558–576.

註：1.請計畫執行單位上傳提供較具策略性的知識物件，不限計畫執行有關內容。
2.請計畫執行單位每季更新與上傳一次，另有新增政策建議可隨時上傳。
3.文字精要具體，量化數據盡量輔以圖表說明。