

多維度碳奈米材料於防火及抗電磁波建築塗層之應用研究

Three-dimensional Carbon Nanocoatings for Fire Retardancy and Anti-electromagnetic Wave Applications

康博璋¹ (Bo-Wei KANG)、謝建德^{1,*} (Chien-Te HSIEH)、蔡宗儷² (Tsun-Pin TASI)

¹ 元智大學化學工程與材料科學學系

² 奕通工程顧問公司

摘要

火災的事件頻繁不斷，因帶走了不少財產及人命傷亡。再加上近期大家也越來越關注電磁波對身體所帶來的影響。有鑒於此，本研究著重於新型功能材料的開發，冀求於既能做到防火效果又能做到抗電磁波的功能。本研究將不同維度的奈米碳材料(0 維材料為量子點、1 維材料為奈米碳管、2 維材料為石墨烯)製備成多維度碳塗層應用於防火及抗電磁波的功能。研究結果顯示加入更多不同維度的材料，碳化面積的燃燒測試與抗電磁波的性能都有所助益。其中 0/2 維材料碳化面積可以減少 33%，電波約可以減少 77%，磁波約可以減少 50%。因此越多維度的材料複合在一起，可抗電磁波和防火的效果可明顯提升。未來此研究將應用於建築材料，將使這些材料獲得更好的防火效果與抗電磁波功能。

關鍵字：防火塗料、電磁波、建築塗層、奈米碳材、石墨烯

Abstract

The incidents of fires were frequent and many property and casualties were taken away. In addition, recently everyone is paying more and more attention to the impact of electromagnetic waves on the human body. In view of this, this research focuses on the development of new functional materials, hoping to achieve both the fireproof effect and the anti-electromagnetic wave function. In this study, carbon nanomaterials with different dimensions (0-dimensional graphene quantum dots, 1-dimensional carbon nanotubes, and 2-dimensional graphene nanosheets) were prepared into multi-dimensional carbon coatings for fire prevention and electromagnetic wave resistance. The research results show that adding more multiple dimensional materials, it is very beneficial for reducing the carbonized area and improving anti-electromagnetic wave resistance. Among them, the carbonized area of three-dimensional carbon coatings can

be reduced by 33%, and the intensities of electrical wave and magnetic wave can be reduced by about 77% and 50%, respectively. In the future, this research will be applied to building materials, enabling these materials to obtain better fireproof and anti-electromagnetic wave resistance.

Keywords: *Fireproof coatings, Anti-electromagnetic wave, Construction coatings, Carbon nanomaterials, Graphene sheets*

1. 前言

火災的發生屢見不鮮，因帶走了不少財產及人命傷亡，因此防火材料的發明刻不容緩。由文獻可知石墨烯屬於二維材料，並且已知擁有優秀的抗電磁波和防火功能，本研究嘗試其他維度的碳材料加入混和，並且測試其防火的特性。由於零維材料的防火特性和抗電磁波的功能並不佳。但是加了石墨烯之後，在防火效果和抗電磁波上的數據很明顯都比單一石墨烯的效果顯著[1,2]。接著因為加了零維和二維材料，因此加入了奈米碳管一維材料，結果發現三個維度的材料複合再一起，其防火及抗電磁波之特性明顯超過單一個維度碳材料。未來此研究將應用於建築材料，將使這些材料獲得更好的防火效果與抗電磁波功能。

2. 研究主體

本實驗是以 sodiun silicate (20 ml)加 pentaerythritol (0.408 g)加 Gypsum powder (0.038 g)為基底，並且加入 012 維三種塗料混合而成，將分成 01 維、02 維、012 維、12 維四種組合成分，每組的成分加起來都是 1.8g (9 wt.%)，一維塗料是量子點，二維塗料是奈米碳管，三維塗料是石墨烯。將全部加入好的調料以 160 rpm 攪拌，溫度設定攝氏 25 °C 之後等待一天，接著使用刮刀塗 0.3 mm 於木板上，接著放入烘箱以 60 °C。烘乾一天，接著固定於鐵架上，接著以噴槍 1050 度 C 以距離 2 cm 的距離烘烤，並且以 10 秒為一個單位，記錄其碳化面積，總共 60 秒。接著以其燒的直徑去算出其燃燒面積接著除以木板面積(12 cm)去算出其比例面積。接著記錄其數值。測量電磁波的方法則是以特定電器量測，將塗料塗於固定大小壁紙上，蓋住特定電器，接著以量測電磁波的機器量測，等待其數值固定後，接著隔 5 秒拍一次照片，共拍 10 張並且取平均。接著將量測結果最好的 012 維壁紙塗料加厚，去進行厚度影響抗電磁波能力的實驗。接著將樣品拿去 XRD、SEM、TGA 並記錄其碳化面積與電磁波的數值。

3. 實驗結果及結論

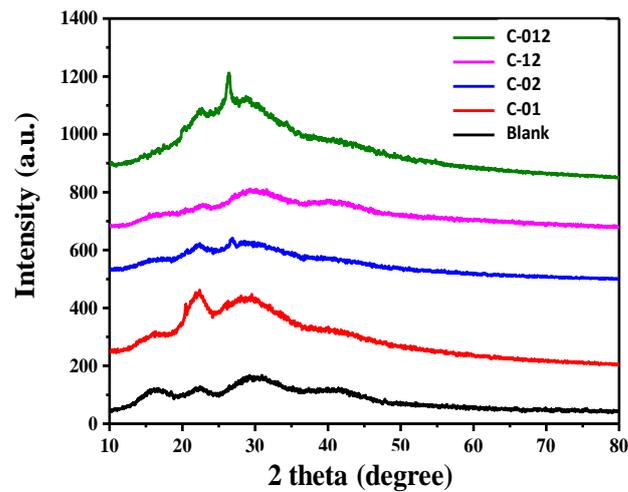


Figure 1. Typical XRD patterns of different coatings.

在圖 1 的時候很明顯可以看到，C-012 的波峰坐落在 26.2 度，此是奈米碳管造成的波值，接著也可以看到起伏比較高的位置，此是石墨烯添加造成的結果，C-01 的高峰值落在也是落在 26.2 度，同樣也是奈米碳管造成繞射峰，但起伏比較高的位置很短，這是因為沒有加入石墨烯的原因所造成。

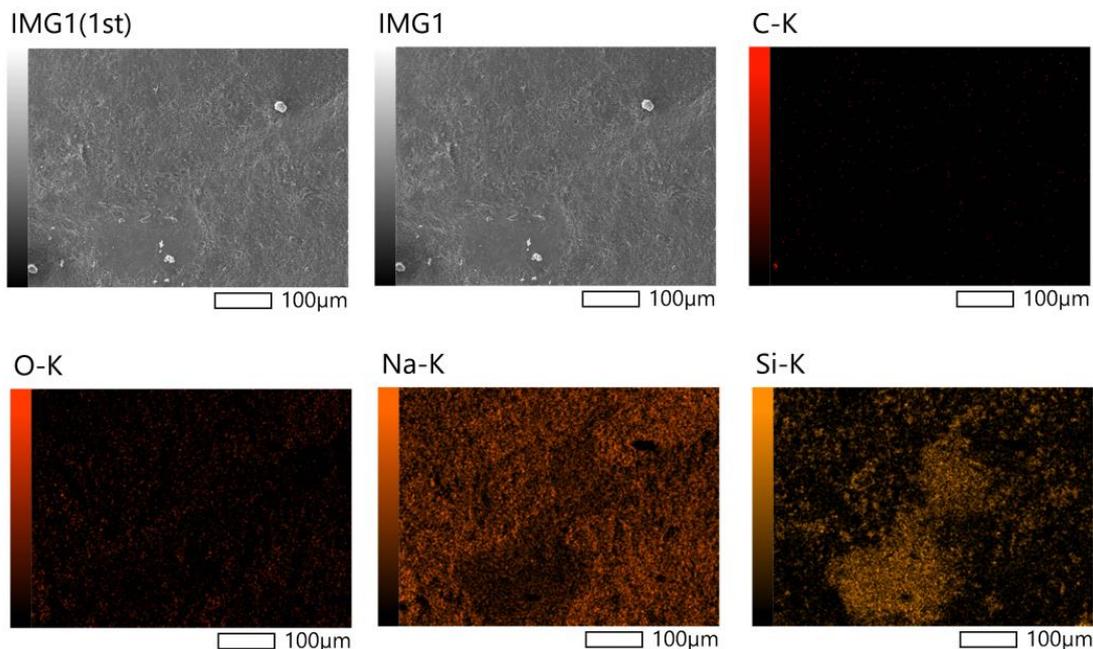


Figure 2. Top-view FE-SEM images of blank sample and its corresponding elemental mapping.

在圖 2 可以看到因為沒加多維度碳材料，所以整體看下去是非常平坦的，而看到鈉跟矽的分布是非常均勻，因此代表塗料已經均勻塗佈。

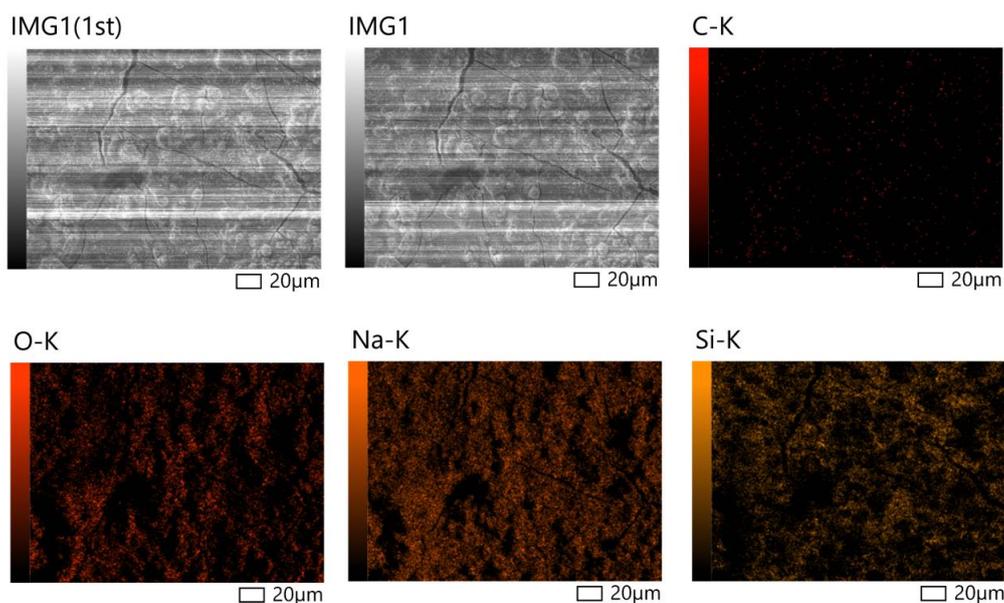


Figure 3. Top-view FE-SEM images of C-012 sample and its corresponding elemental mapping.

在圖 3 可以看到粗糙表面，這是因為石墨烯的表面晶粒較大，會造成拍攝下來的表面非常不平滑。也可以看到因為水玻璃的關係也讓鈉跟矽的分布非常平整。

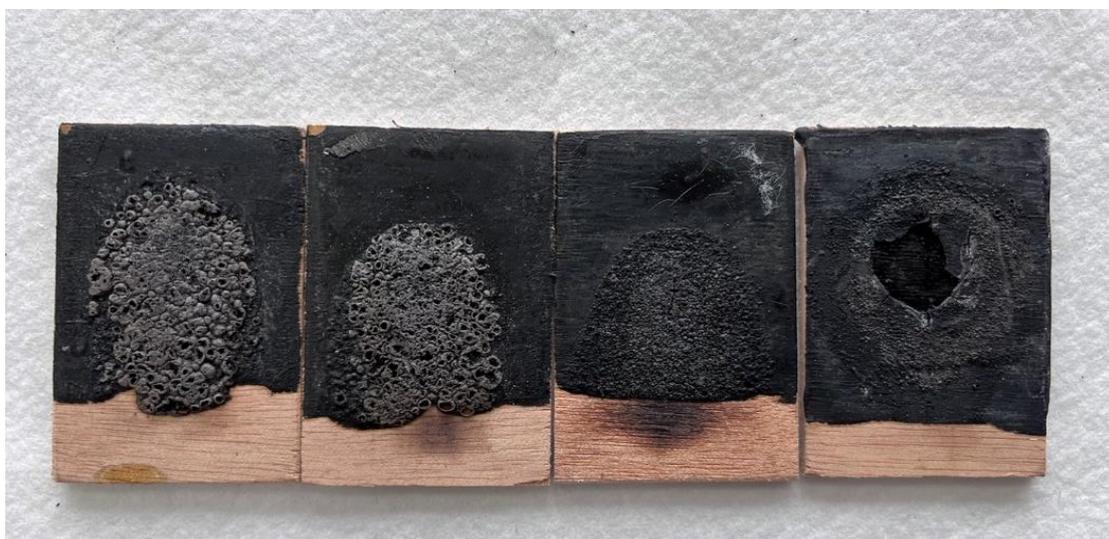


Figure 4. Photographs of different coatings on wooden substrates after the fire injection test.

一般而言，造成木板燃燒(或是劇烈氧化)的原因，乃是在高溫氧化過程中產生氣泡，接著氣泡破裂，火焰則會直接燒到木板，因而造成燃燒反應。由圖 4 看到本研究之 4 個配方燒 60 秒鐘後的結果比較，石墨烯和奈米碳管搭配量子點燃燒的碳化面積非常相近，氣泡大小也非常相近，但看到 C-012 這組很明顯的碳化

面積變小，加上氣泡非常微小，完全沒有氣泡變大，或者是木板燃燒的跡象，這是非常良好的結果。接著看到 C-12 的結果，很明顯造成一個很大的氣泡破裂，雖然沒有很大的碳化面積，但卻直接造成木板燃燒起來，顯示其防火效果不佳，比較 4 個圖起來，很明顯是 C-012 的碳化面積最小，顯示防火效果最好。

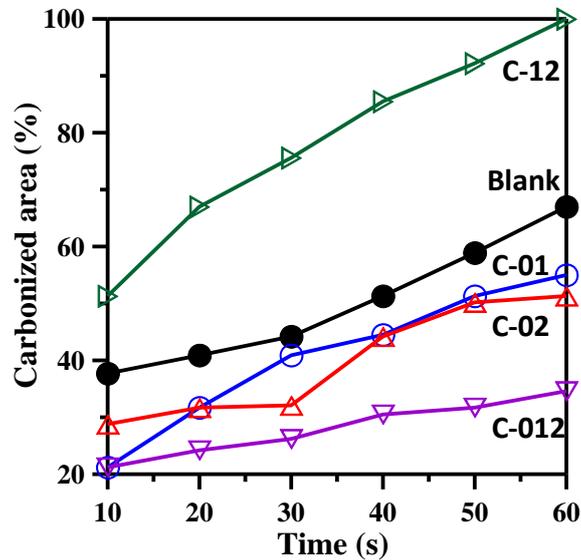


Figure 5. The carbonized area as a function of fire injection time.

圖 5 表現出 C-012 塗料的防火效果遠勝於空白組，因此推斷出將 0 維材料加入其他維度的材料，可以獲得比單石墨烯更好的防火狀態。空白組在 60 秒時達到碳化面積 70% 的程度，對比 C-01、C-02、C-012 塗料都高了 20% 以上。雖然已知石墨烯有良好的防火效果，但和 0 維材料量子點混合在一起，效果卻和量子點和一維材料碳管效果差不多，效果大約都是 60 秒碳化面積 50% 左右。但將 3 種維度混合在一起，碳化面積卻可以降低到 30% 左右。相比空白組，大約可以降低 40% 左右的碳化面積。因此可以判斷石墨烯加上其他維度材料，能有更佳的防火效果，而將 3 種維度混合在一起的效果，也是遠遠大於 2 種維度的效果。

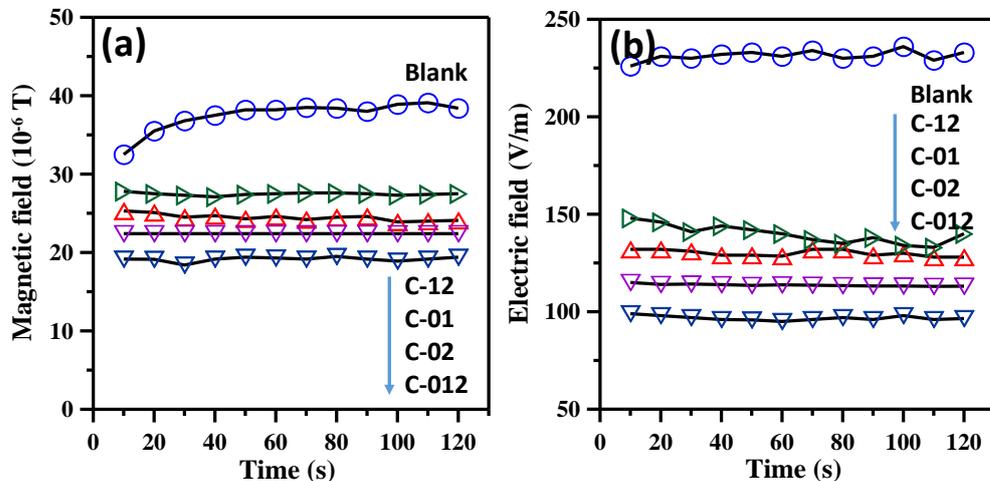


Figure 6. (a) Magnetic and (b) electric field shielded by different carbon coatings.

圖 6(a)可以很明顯的看到這 4 個配方的抗磁場效果，相對空白組來說，其抗電磁場效果相當顯著。隨著時間的推演，4 個配方的抗磁場效果都是非常穩定的，C-12 大約可以降低至 $27.5 \mu\text{T}$ ，C-01 和 C-02 大約可以降低至 $22.4\text{-}24.1 \mu\text{T}$ ，而 C-012 大約可以降低 $19.4 \mu\text{T}$ ，同樣是 4 個配方裡最好的。接著看到圖 6(b)，此圖是量測電場的效果，可以看到空白組的電波數據約在 250 V/m 附近左右，但加了 4 組配方以後，電磁波也很明顯的全部下降了。一樣經過長時間的量測，可以發現效果也是非常穩定的，在 C-12 可以發現電場大約是在 150 V/m 左右，而 C-01 大約在 130 V/m 左右，C-02 大約是在 120 V/m 左右，而 C-012 大約是在 90 V/m 左右，同樣是 4 個配方裡面效果最好的。由以上實驗顯示，C-012 的所有抗電磁波效果數據都是最佳的，因此也可以推斷加了此多種維度塗料的抗電磁波特性越好。

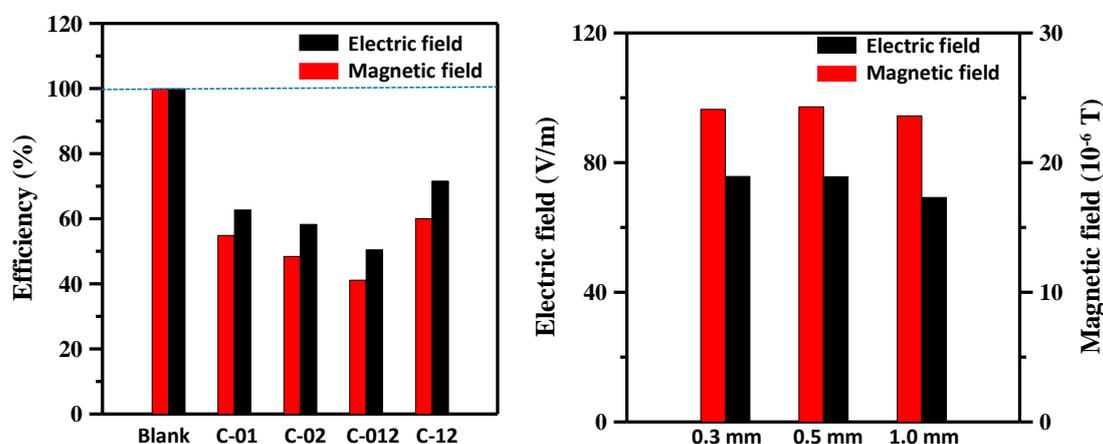


Figure 7. (a) The shielding efficiency of magnetic and electric field by different carbon coatings and (b) magnetic and electric field shielded by C-012 coating with different thicknesses.

在圖 7(a)看到紅色線的抗電磁波能力，可以看到 C-01 和 C-02 對比空白組都能降低約 50% 的數值，而防火能力不好的 C-12 大約只能降低 30% 左右，而防火特性最好的 C-012 抗磁波能力大約可以降低 60% 左右。在圖 7(a)看到黑色線的抗電波能力，一樣可以 C-01 和 C-12 抗電波的效果大約在 60% 左右，而 C-02 因為石墨烯原本就有較好的抗電磁波效果，因此抗電波的效果大約可以達到減少 50% 的效率。而防火效果和抗磁波效果最好的 C-012，大約可以減少 60% 的電波。不管是防火效果，還是抗電磁波效果最好的都是 C-012 塗層。

接著我們將所有特性都最好的 C-012 去進行加厚測試，分別以 0.3 mm、0.5 mm、1.0 mm 進行抗電磁波測試。可以看到電波的數值大約都落在 90 V/m 左右，而磁波的數值都在 $20 \mu\text{T}$ 左右，雖然有少許的下降，但是效果是並不明顯(如圖 7(b))，因此可以推斷厚度對於抗電磁波並無顯著影響。

參考文獻:

1. A.G. El-Shamy, Novel conducting PVA/Carbon quantum dots (CQDs) nanocomposite for high anti-electromagnetic wave performance. *Journal of Alloys and Compounds* 810 (2019): 151940.
2. W. Chen, P. Liu, Y. Liu, Q. Wang, W. Duan, A temperature-induced conductive coating via layer-by-layer assembly of functionalized graphene oxide and carbon nanotubes for a flexible, adjustable response time flame sensor. *Chemical Engineering Journal* 353 (2018): 115-125.