

## 添加銅銀金屬沸石材料之除菌與物化特性研究

林展平\* 王勇勝\*\* 沈俊宏\*\* 洪肇嘉\* 謝祝欽\* 郭昭吟\*

\*國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系

\*\*國立雲林科技大學工程科技研究所

### 摘 要

本研究應用自製含銅/銀金屬觸媒沸石於空氣濾淨模組模擬室內空氣品質改善,以去除真菌及細菌,其中以含浸法及鍛燒製作之銀觸媒沸石對細菌(大腸桿菌)與真菌除菌效率達 95%,而揉製法製作銅觸媒沸石則可達 80%。本研究探討自製沸石結合金屬之不同物化特性與除菌效率之相關性,使用之分析儀器包括 TEM、SEM、ICP、FT-IR、XRD 及界達電位儀等。

以 SEM 與 TEM 觀察利用含浸法結合氧化亞銀 ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ) 及使用揉製法結合氧化亞銅 ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) 發現沸石表面附著奈米級銅/銀顆粒狀金屬,樣本經酸消化及 ICP-OES 分析含浸法鍍銀金屬含量較低,而以揉製法添加銅金屬則含量較高。另 XRD 分析觸媒沸石含銀量低無  $\text{Ag}_2\text{O}$  晶格之波峰,含銅金屬則因含量高有  $\text{Cu}_2\text{O}$  晶格波峰,而沸石含  $\text{SiO}_2$  晶格則會因添加金屬致晶格強度減少。FT-IR 分析則顯示即使鍍上金屬觸媒之沸石表面官能基主要仍為 Si-O-Si 和 O-H 官能基,表面因覆蓋金屬氧化物會增強其官能基吸收強度。界達電位分析則顯示銀及銅觸媒沸石皆有兩個等電位點,因矽鋁氧化物為兩性物質,而使用後沸石之第二等電位點由 pH 8.5 下降至 pH 7.5,可能係表面帶電特性因吸附細菌及真菌而改變所致,含少量 (1%以下) 銀觸媒沸石對細菌與真菌之除菌效果佳。

**關鍵詞:** 沸石、銀、銅、除菌效率、過濾系統

### I. 前 言

近年工商業蓬勃發展、社會人口結構快速改變,導致人們生活型態及居住環境有相當大的變化,根據美國政府工業衛生師協會 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) 研究發現,人們停留於室內環境的時間長,且細菌與真菌生物氣膠普遍存在於室內環境,是造成室內空氣品質 (Indoor Air Quality, IAQ) 問題的來源之一 (AFFCO, 1998),生物氣膠會導致人體產生過敏反應,導致感染性疾病等危害,是室內空氣品質不良重要課題。

2005年行政院環保署公告我國「室內空氣品質建議值」,包含二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ )、一氧化碳 (CO)、甲醛 ( $\text{CH}_2\text{O}$ )、總揮發性有機化合物 (TVOC)、細菌 (Bacteria)、真菌 (Fungi)、粒徑小於等於10微米之懸浮微粒 ( $\text{PM}_{10}$ )、粒徑小於等於2.5微米之懸浮微粒 ( $\text{PM}_{2.5}$ )、臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 及溫度 (Temperature) 等十項參數。而細菌於第一類場所 (指對室內空氣品質有特別需求場所,如醫療場所) 中其建議值最

高為500 CFU/ $\text{m}^3$  (菌落數/立方公尺)、第二類場所 (指一般大眾聚集的公共場所及辦公大樓,如營業商場等) 之建議值為1000 CFU/ $\text{m}^3$  (菌落數/立方公尺);真菌類最高建議值為於2012年提出穿內空氣品質管理法及各項室內污染物標準值1000 CFU/ $\text{m}^3$  (菌落數/立方公尺) (行政院環保署, 2005)。

### II. 文獻回顧

我國研究指出國內之醫療院所之室內空氣品質確有危害人體之虞 (張靜文, 1998),而近年國人對於室內空氣品質越來越重視,室內環境多以空調系統或空氣清淨機改善室內空氣品質,然因室內空氣污染物種類多,無法有效的達到空氣淨化的效果,其中對人體健康危害較顯著的生物氣膠可利用金屬觸媒與沸石如銀 (Ag)、銅 (Cu)、鋅 (Zn) 等進行除菌,且以Ag除菌能力最佳,製備金屬觸媒於沸石可將室內空氣污染物的甲醛及生物氣膠同時去除,達到空氣淨化之目的 (李獻欽, 2010)。

本研究使用沸石載體結合不同具除菌能力銀銅金屬觸媒,

合成為具除菌能力的濾材，針對室內空氣細菌、真菌等危害人體健康進行研究。國內外許多研究結果也指出含銀除菌劑的除菌活性隨著銀微粒的顆粒尺寸減小而增加 (Oya, et al., 1993)，因此細小銀微粒的除菌能力更強 (Lee, et al., 1996)；國外學者也以自行合成奈米銀材料為除菌劑，針對 *E. coli* 進行除菌試驗，銀粒子會造成細胞壁許多小孔及累積，造成細胞死亡 (Sondi and Salopek-Sondi, 2004)。

也有研究指出銀添加於竹炭中形成BC/Ag除菌劑，除菌感受性試驗中對 *S. aureus* 及 *P. aeruginosa* 之最小抑菌濃度分別為 < 0.4 µg/ml 及 400-4000 µg/ml，且銀離子的釋放濃度會隨時間、製作時硝酸銀含量增加及竹炭含量減少而有增加的趨勢；以BC/Ag除菌劑對 *S. aureus*、*B. subtilis*、*P. aeruginosa* 及 *E. coli* 之抑菌試驗，結果顯示BC/Ag對以上四種菌之抑菌圈範圍分別為13-15 mm、9-10 mm、11-12 mm 及 10-11 mm，且會隨銀含量增加其抑菌能力亦會增加 (楊福助等, 2008)；學者以自行製備之除菌劑 ( $\text{Na}_2\text{-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) 對 *E. coli* 之除菌試驗結果顯示反應時間3小時後，自製除菌劑對 *E. coli* 之除菌率已趨近100%，其除菌效果佳 (曹德光等, 2004)。

也有研究以離子交換法置換沸石上的Na離子為Ag離子，以5 wt%之含銀沸石反應時間2小時其 *E. coli* 之除菌率達100%，對 *S. faecalis* 在6小時後可達100% (Rivera-Garza, et al., 2000)；另一研究以離子交換法將Ag與沸石結合，以0.1 g的Ag沸石反應時間5分鐘後，*E. coli* 之除菌率達100% (Inoue, et al., 2002)。也有研究以ZSM-5沸石為載體，將Cu ( $\text{NO}_3$ )<sub>2</sub> 以離子交換法將Cu離子架接於ZSM-5沸石，分別於有無光照條件下對 *E. coli* 進行除菌試驗，結果在有光照條件下Cu-ZSM-5除菌劑對 *E. coli* 之除菌能力為90%，若於暗室中(無光照) 其對 *E. coli* 之除菌率亦有85% (Cik, et al., 2001)。若蒙脫石 (MMT) 為載體，添加金屬銅形成Cu-MMT除菌劑，對 *E. coli* 及 *S. aureus* 在反應時間分別為6小時及4小時，其除菌率皆達100%；若使用20 mg的Cu-MM在2小時的反應時間即可達到100%之除菌率 (葉瑛等, 2003)。

有鑑於此，本研究分析以含浸及添加不同製程之銀銅金屬觸媒於沸石，製作沸石除菌材，分析其物化特性及比較對細菌與真菌之除菌率，探討其主要特性與除菌率之相關性，以了解金屬觸媒與沸石結合後除菌特性，試驗其作為濾材消除含細菌及真菌等生物氣膠之應用性。

### III. 實驗方法

#### 1. 金屬觸媒沸石製備

本研究檢測含浸法結合金屬銀 ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ) 觸媒結合於自製備沸石 (如圖1)，依 $\text{AgNO}_3$ 溶液銀濃度為1、2、3wt%浸泡沸石經震盪含浸3小時後成為ZS1、ZS2、ZS3，另外張祐滋 (2010) 使用揉製法結合1、3、5wt% 金屬銅 ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) 觸媒製備沸石 (如圖2)，依揉製時使用 $\text{Cu}_2\text{O}$ 濃度為1、3、5wt% 均勻混合於沸石後，成為ZC1、ZC3、ZC5，檢測項目包括FE-SEM、TEM、ICP、FT-IR、XRD及界達電位儀等之物化特性分析。本研究使用JOEL 6701F掃描式電子顯微鏡 (FE-SEM) 觀察其表面特性，輔以X-光能譜分析儀 (EDS) 檢測沸石材料表面銀銅金屬之分佈情形；並以王水消化沸石材料及OPTIMA 5100DV感應耦合電漿原子發射光譜儀 (ICP-OES)，分析材料所含各種微量元素，確認材料之成分；以傅利葉轉換紅外線光譜儀 (FT-IR) 利用干涉儀產生干涉圖譜經傅利葉轉換成IR的光譜測得各種元素結合官能基的振動光譜，進行定性比對及定量；以Siemens D5000 system X光繞射儀 (XRD) 分析辨別金屬觸媒沸石材料之晶相及組成；以ZETA METER 4.0界達電位分析儀觀察沸石材料表面之界達電位 (zeta potential)，了解在不同pH值其顆粒表面帶電特性。圖3為本實驗之流程圖。

#### 2. 金屬觸媒沸石模擬實驗

本研究之除菌率部分為將自製觸媒沸石置於模擬通風系統中之空氣濾淨裝置 (謝祝欽等, 2010)，並利用一階採樣器採取系統空氣總細菌及真菌 (初始菌落值為2000 CFU/m<sup>3</sup>及1000 CFU/m<sup>3</sup>) 並於培養後計算其菌落數，生物氣膠採樣及檢測方法參考行政院環保署 (2009) 公告之NIEA E301.

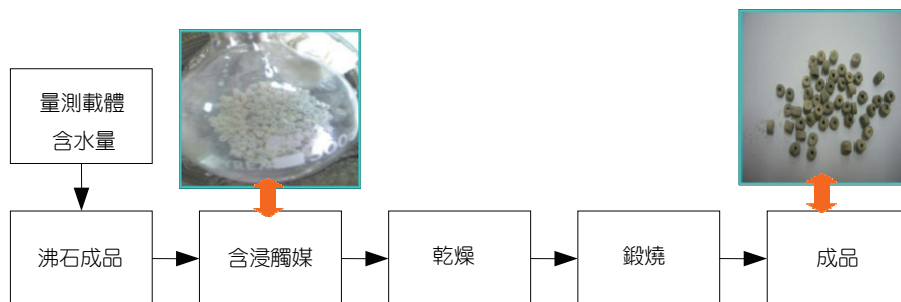


圖1 含浸銀金屬觸媒沸石程序 (謝祝欽等, 2009)



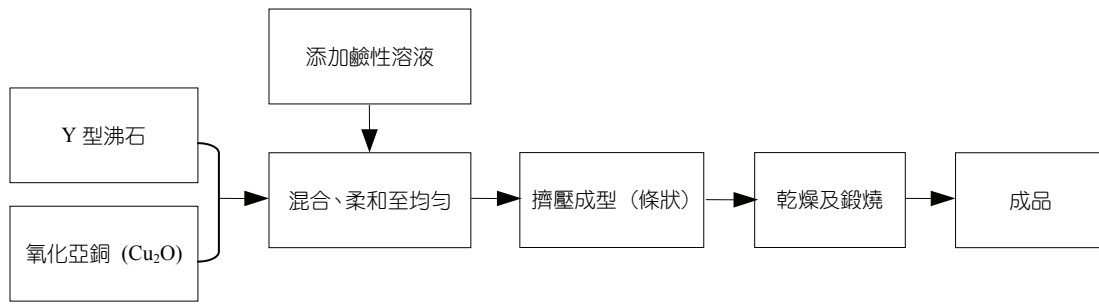


圖2 揉製銅金屬觸媒沸石程序 (張祐滋, 2010)

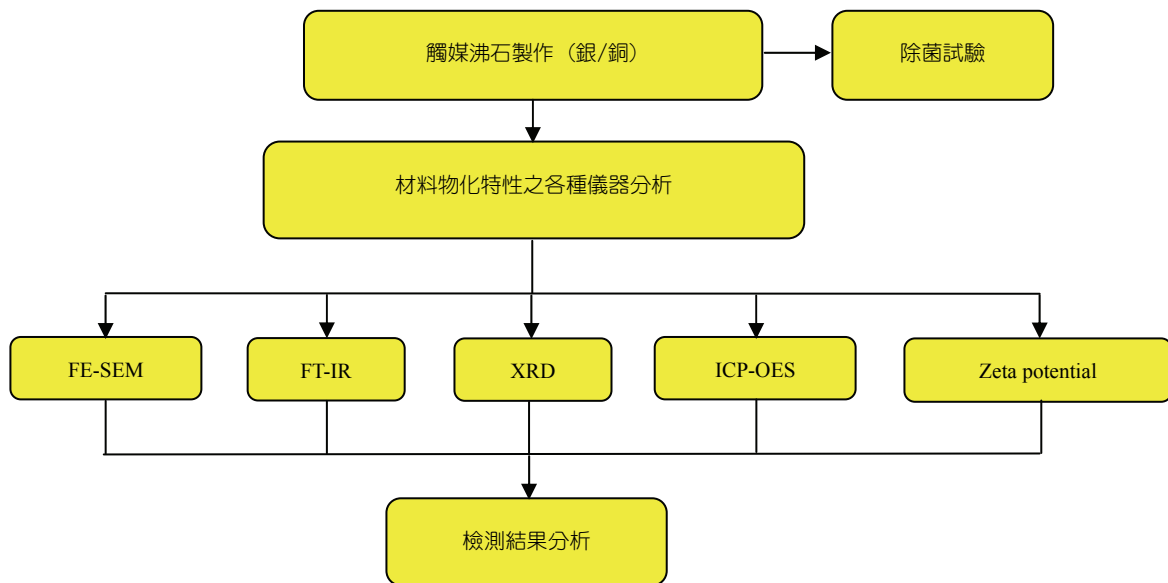


圖3 實驗流程圖

11C與NIEA E401.11C，以比較含浸法添加銀觸媒與揉製法添加銅觸媒於自製沸石，並比較物性分析與除菌效率之相關性 (李獻欽, 2010; 謝祝欽等, 2009)。

模擬通風系統之空氣濾淨裝置為壓克力材質，長45 cm，寬30 cm，高30 cm，內容積為40.5 L之艙室，艙室兩旁各有一氣體進出抽氣口，抽氣速率為 0.7 m/s，而艙室中間底部，另有裝設一風扇，均勻混和內部污染物。主要構造包括：a：觸媒沸石填充處；b：開關閥；c：氣膠採樣器 (謝祝欽等, 2009)。

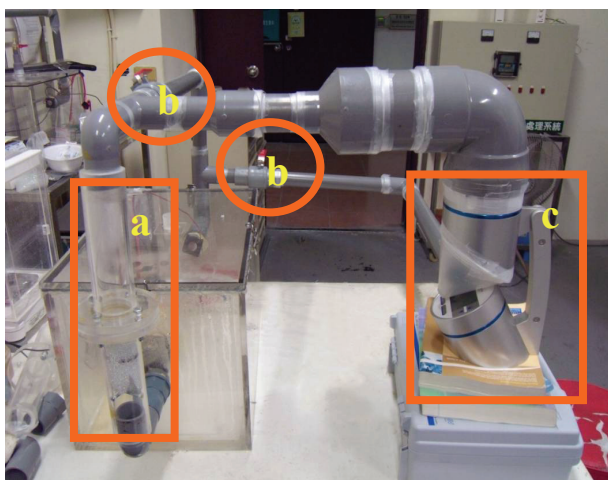


圖4 模擬通風系統 (謝祝欽等, 2009)

### 3. 金屬觸媒沸石再生性模擬實驗

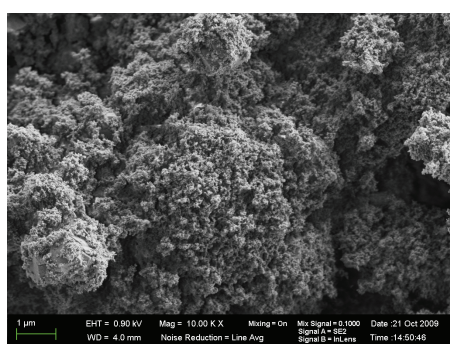
本研究再生性模擬實驗以固定床方式，連續抽取室內空氣，實驗空間約為96 m<sup>3</sup>，使用濾材為自製銀金屬觸媒沸石 (1 wt%) 並連續使用數次及再生利用濾材實驗使用 10 g 除菌材料 (銀金屬觸媒沸石) 與玻璃珠，實驗模擬艙運作流量為80 lpm，室內環境溫度為27±1°C、相對濕度56%，進行10小時連續除菌實驗；濾材再生則以固定床再生方式進行線上再生，以流量1 lpm通入空氣並加熱160°C持續2小時，熱氣停留於填充管時間約3.7秒。利用一階生物氣膠採樣器 (MAS-100 NT) 來採集細菌與真菌等生物氣膠 (謝祝欽等, 2010)。

#### IV. 結果與討論

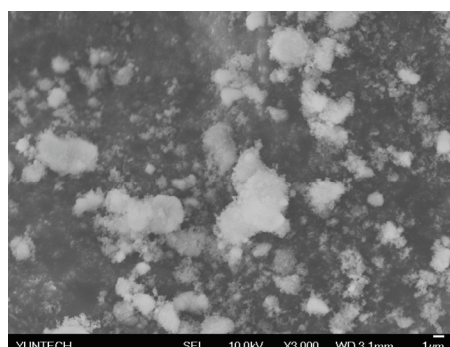
本研究針對不同金屬及不同製程方法之觸媒沸石進行物化分析，以自製之沸石做為載體，含浸法製備含銀沸石 (ZS) 及揉製法合成含銅沸石 (ZC) 模擬去除空氣中之細菌與真菌。本研究主要針對ZS與ZC兩種不同性質之沸石進行物化特性分析，並探討再生性及再次使用沸石之物化特性。

##### 1. 物化特性分析

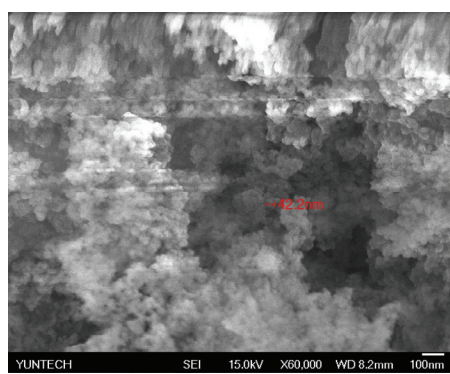
利用電子顯微鏡可觀測材料粒徑大小，如圖5所示圖中可清楚看出沸石材料呈顆粒狀且具有團聚現象，另進一步進行沸石粒徑分析，圖中沸石粒徑約為42.2nm，粒徑大小約為10-100nm之間。



ZS1



ZC1



ZS1

圖5 觸媒沸石FE-SEM分析影像

利用感應耦合電漿原子發射光譜儀 (ICP-OES) 分析了解

沸石之元素組成，表1為添加銀及銅沸石之ICP-OES分析結果，利用含浸法溶液濃度為1、2、3%濃度鍍上銀金屬的ZS1、ZS2、ZS3沸石其含銀量約0.007 wt%、0.92 wt%、2.51 wt%；表2為利用揉製法添加1、3、5%銅金屬的ZC1、ZC3、ZC5沸石其含銅量約0.78 wt%、3.53 wt%、5.57 wt%，得知揉製法有效將銅金屬完全混合於沸石顆粒，且分析其全量或低於高於添加量，可能是混合攪拌不均勻所導致。而含浸法是將沸石浸泡於氧化亞銀溶液後鍛燒烘乾，因沸石表面浸泡後覆蓋之銀金屬有限，故ICP-OES分析其表面銀金屬含量不多。

表3為銀觸媒沸石再生性後銀金屬含量表，沸石使用前、使用後、5次再生及8次再生沸石其含銀量約0.004 wt%、0.003 wt%、0.0005 wt%、0.0005 wt%。可知沸石再生後其銀金屬含量明顯的減少，其原因為添加銀金屬之沸石分解空氣中細菌與真菌而達到去除效率，經高溫再生後銀含量則有所減少，然銀熔點960°C以上，奈米銀熔點可低至100°C，可能因再生加熱導致銀觸媒剝落、溶解及消耗。銅觸媒沸石則為進行再生實驗。

表1 銀觸媒沸石 (ZS1、ZS2、ZS3) 之ICP分析結果

樣品名稱	ZS1	ZS2	ZS3
元素含量			
金屬含量 (mg/kg)	67.3×10 <sup>3</sup>	92.2×10 <sup>3</sup>	25.1×10 <sup>3</sup>
實際含量 (wt%)	0.007	0.92	2.51

表2 銅觸媒沸石 (ZC1、ZC3、ZC5) 之ICP分析結果

樣品名稱	ZC1	ZC3	ZC5
元素含量			
金屬含量 (mg/kg)	7.84×10 <sup>3</sup>	3.53×10 <sup>4</sup>	5.75×10 <sup>4</sup>
實際含量 (wt%)	0.78	3.53	5.75

表3 銀觸媒沸石 (使用前後及再生性) 之ICP分析結果

樣品名稱	ZS1			
	使用前	使用後	5次再生	8次再生
元素含量				
金屬含量 (mg/kg)	39.5	26.6	4.6	4.5
實際含量 (wt%)	0.004	0.003	0.0005	0.0005

利用FT-IR分析沸石表面官能基，其結果如圖6、7。可以看出920至1250cm<sup>-1</sup>區域應為siloxane (Si-O-Si) 與silanol (Si-OH) 吸收峰帶，另外在1640至3400cm<sup>-1</sup>附近有明顯吸收峰帶，應是沸石表面水分子氫鍵的伸展與變形，針對不同金屬觸媒沸石 (ZS和ZC) 之分析顯示Si-O-Si和O-H官能基吸收訊號以金屬含量1wt%最低，含量增加時則訊號增強，表示沸石含浸銀金屬氧化物可增加Si-O-Si和O-H官能基吸收強度，而揉製添加銅金屬亦會如此。



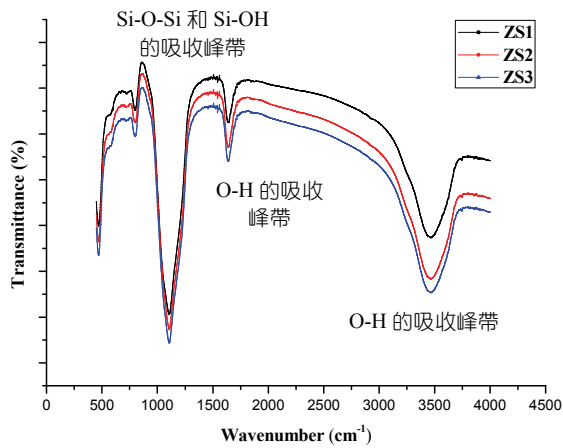


圖6 銀觸媒沸石 (ZS1、ZS2、ZS3) 之FT-IR分析圖譜

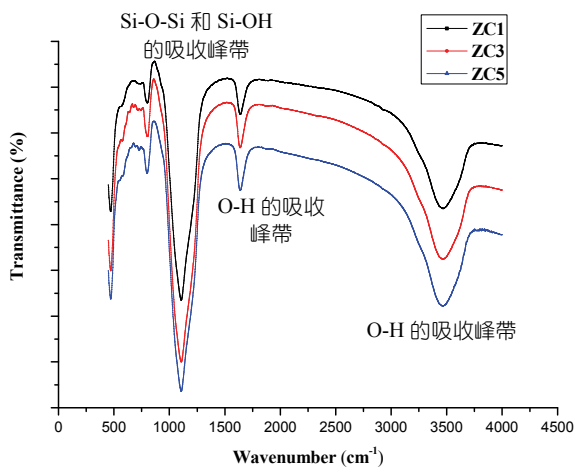


圖7 銅觸媒沸石 (ZC1、ZC3、ZC5) 之FT-IR分析圖譜

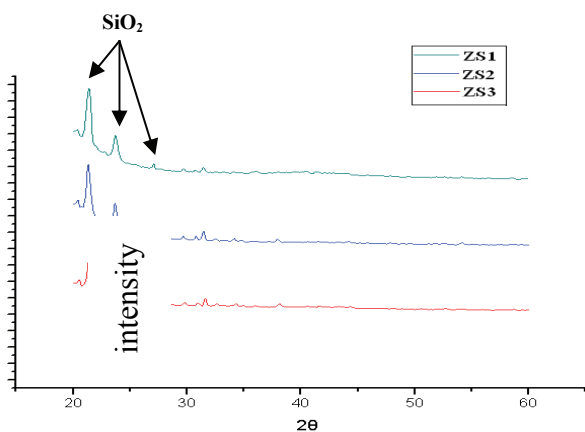


圖8 銀觸媒沸石 (ZS1、ZS2、ZS3) 之XRD分析圖譜

由XRD分析材料之晶體，圖8、9為含銀觸媒及含銅觸媒沸石之XRD圖，發現不同金屬 (Ag和Cu) 觸媒沸石SiO<sub>2</sub>晶體波峰隨著金屬觸媒含量增多而降低，表示沸石顆粒晶格隨

金屬添加量增多而減小，添加金屬對於沸石晶格有所影響。圖9發現以氧化亞銅混拌沸石量增加時而Cu金屬顆粒晶格漸增；圖8則沒有氧化亞銀的金屬晶格波峰出現。經ICP分析可知原氧化亞銀浸液因含浸法於沸石上銀含量不多，推估氧金屬晶格波峰因濃度低而未出現。圖10為銀金屬觸媒沸石經再生後沸石之晶格變化與使用前後沸石相似，而沸石經重覆使用後其晶體結構特性並未明顯改變。

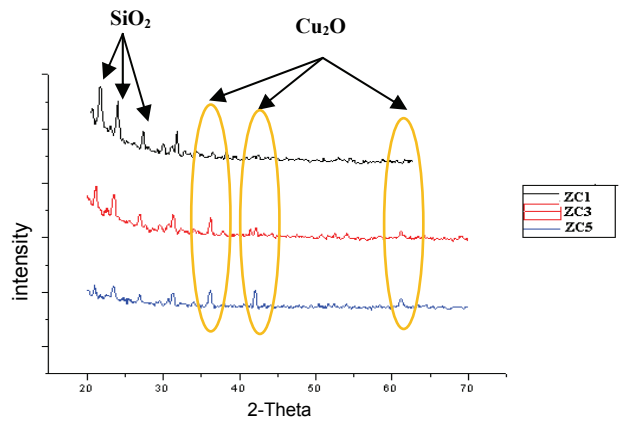


圖9 銅觸媒沸石 (ZC1、ZC3、ZC5) 之XRD分析圖譜

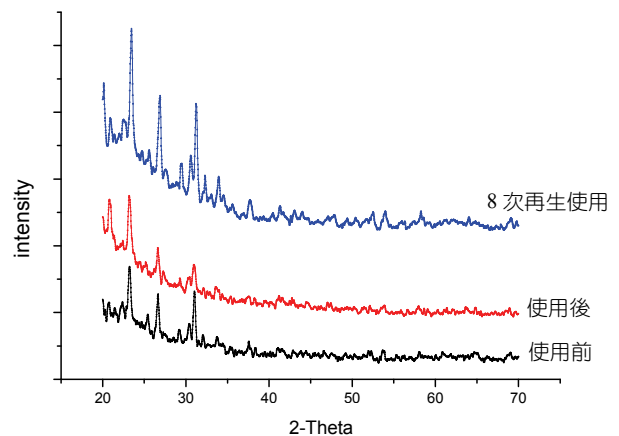


圖10 銀觸媒沸石 (使用前後及再生性) 之XRD分析圖譜

本研究之發現界達電位之分析，不僅可得知材料表面之帶電性，亦是判別使用前後及是否有除菌效益之快速分析方法，圖11及12分別為銀金屬觸媒沸石及銅金屬觸媒沸石界達電位，圖中銀銅金屬觸媒沸石皆具有兩個等電位點，分別為4-5與8-9之間。故含銀、銅金屬觸媒沸石於酸性 (pH<4) 及鹼性 (pH>9) 環境下，沸石顆粒表面皆帶負電荷，對帶正電荷之物質應具吸附能力；而pH介於5至8之間時，沸石顆粒表面皆帶正電荷，對負電荷之物質具有吸附能力。其中沸石因材料為矽、鋁，其中鋁為雙性物質，在酸性 (pH<4) 與鹼性 (pH>9) 環境下形成帶負電化合物。

圖11及12發現銀銅金屬觸媒沸石第二個等電位點約為8.5左右，經模擬通風系統中之空氣濾淨裝置採樣後其沸石等電位點下降約7.5左右。推測其原因為沸石經使用及吸附空氣污染物質，導致沸石其物化特性產生變化。

本研究分析大腸桿菌電位帶負電，隨著pH值增加其表面帶電性下降（約-15至-45mV）。含銀沸石於pH 5 – 8時因銀金

屬與沸石鈉金屬置換而使得沸石表面帶正電，當沸石吸附細菌後界達電位分析第二點電位點下降，推斷是大腸桿菌因附著在沸石表面與銀金屬反應，致表面電位產生變化，銀金屬觸媒沸石經五次再生及八次再生第二個等電位點皆下降（圖13），顯示經160°C高溫去除水分、細菌與真菌，經反覆再生後雖然沸石表面帶電性雖改變，但除菌效率仍佳。

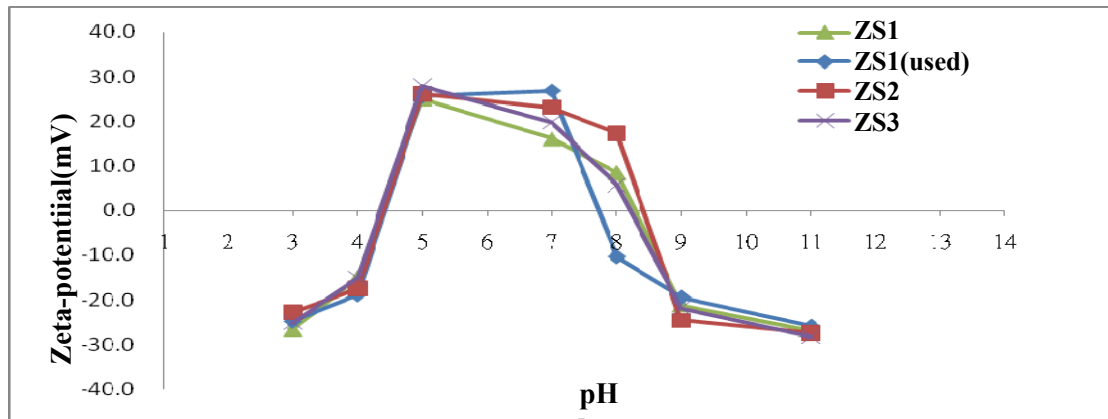


圖11 銀觸媒沸石之界達電位分析

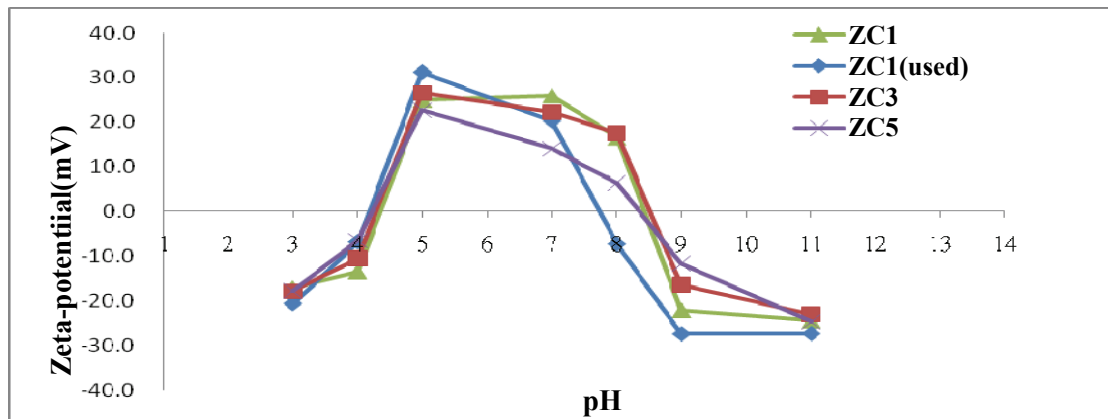


圖12 銅觸媒沸石之界達電位分析

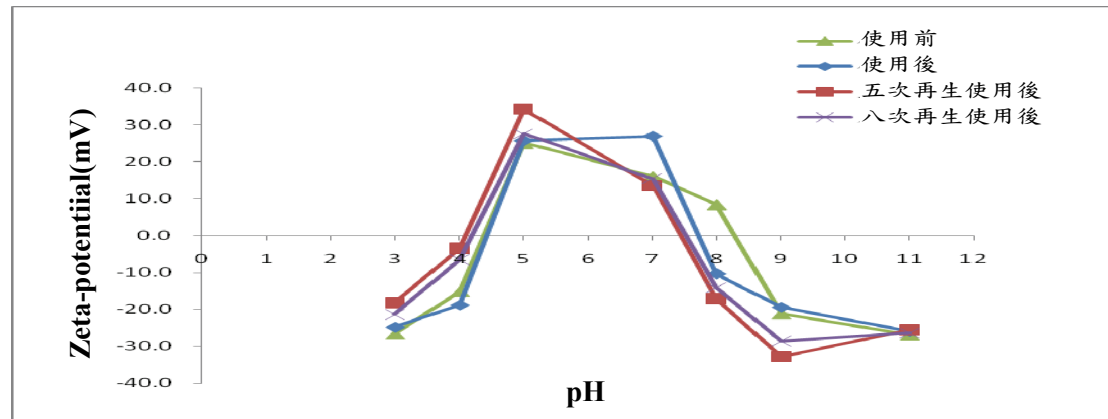


圖13 銀觸媒沸石再生後之界達電位分析



表4 使用前後沸石及再生性沸石之物性差異比較表

	FE-SEM	ICP	XRD	FT-IR	界達電位
Ag-zeolite	銀沸石粒徑約為 10~100nm	含浸量越多,沸石銀含量較多	SiO <sub>2</sub> 波峰隨著金屬含量增多而降低, Ag <sub>2</sub> O 晶格因銀含量不多而波峰不明顯	Si-O-Si、Si-OH 吸收峰帶隨著銅觸媒量增加而增強	界達電位第二等電位點約在 pH 8.5
使用後 Ag-zeolite	使用後粒徑分佈及大小與使用前略同	使用後及再生後皆造成銀含量減少 (約 0.001wt%)	使用後及再生後 SiO <sub>2</sub> 波峰明顯下降	使用後及再生後 Si-O-Si 和 Si-OH 吸收峰帶些微減弱	使用後其第二等電位點下降至 pH 7.5
五次再生 Ag-zeolite					
八次再生 Ag-zeolite					
Cu-zeolite	銅沸石粒徑約為 10~100nm	揉製量越多,沸石銅含量較多	SiO <sub>2</sub> 波峰隨著金屬含量增多而降低, CuO 晶格因銅含量增多而波峰變大	Si-O-Si、Si-OH 吸收峰帶隨著銅觸媒量增加而增強	界達電位第二等電位點約在 pH 8.5
使用後 Cu-zeolite	使用後粒徑分佈及大小與使用前略同	使用後銅含量略減 (0.002wt%)	使用後 SiO <sub>2</sub> 波峰有些許下降, CuO 晶格也下降	使用後其 Si-O-Si 和 Si-OH 吸收峰帶些微減弱	使用後其第二等電位點下降至 pH 7.5

## 2. 除菌

使用含銀沸石進行細菌及真菌之去除, 將金屬觸媒沸石加裝於模擬通風系統中之空氣濾淨裝置, 並用一階採樣器連接採取室內空氣中總細菌、真菌菌落數, 探討含銀、銅金屬觸媒沸石針對細菌與真菌之除菌率 (謝祝欽等, 2010)。含銀 (Ag<sub>2</sub>O) 觸媒沸石對細菌與真菌之除菌率結果, 顯示含銀觸媒沸石對細菌與真菌於 2 小時除菌率可達 95% 以上, 且隨著含銀量增加其除菌率也隨之增加。當再生後之銀觸媒沸石去除細菌及真菌分析沸石於五次再生後仍可達 90% 以上, 八次再生後其除菌率可為達 95% 以上, 再生後之沸石對於細菌、真菌之去除效率可維持特定效率。另謝等人曾嘗試使用沸石於液相中去除細菌及大腸桿菌, 其結果指出於液相中去除細菌會因環境潮濕等因素導致細菌種滋生, 若添加 Ag 觸媒則可有效抑制菌種滋生。含銅 (Cu<sub>2</sub>O) 觸媒沸石對細菌與真菌之除菌率可達 80% 以上, 而含銅觸媒沸石除菌率 (80%) 明顯小於含銀觸媒沸石除菌率 (95%)。綜合以上數據結果進行比較討論, 表 4 為比較使用前後、再生沸石之物性差異。

## V. 結 論

本研究分析含浸法銀與揉製法銅進行金屬觸媒與自製沸石之各種物化特性, 並將兩種金屬觸媒沸石應用於模擬通風系統之空氣濾淨裝置, 利用一階生物氣膠採樣器採集空氣中細菌 (大腸桿菌) 及真菌以了解其去除效率。使用儀器包括 TEM、FE-SEM、ICP、FT-IR、XRD 及界達電位儀進行金屬觸媒沸石其物理特性分析之差異性, 探討不同製造方法之材料特性與其除菌力之相關性。

綜合分析, 可推導以下結論:

1. 自製觸媒沸石金屬附著表面呈現顆粒狀, 經 TEM 與 FE-SEM 分析結果顯示金屬觸媒均成功覆蓋於沸石上,

含浸法銀金屬觸媒不易覆蓋於沸石表面上, 揉製法金屬觸媒沸石其銅金屬含量較多, 推測因含浸溶液無任何化學變化, 無法成功吸附金屬; 揉製法則因金屬觸媒與沸石進行鍛燒, 與沸石結合產生化學變化。

2. 沸石 SiO<sub>2</sub> 波峰隨著金屬觸媒含量增多而降低, 顯示金屬的添加影響會對沸石 SiO<sub>2</sub> 晶格。另含浸氧化亞銀含量少, 故沒有氧化亞銀晶格波峰出現, 揉製法氧化亞銅含量較多, 且晶格隨含量增多而增大。金屬觸媒沸石表面官能基主要為 Si-O-Si 和 O-H 官能基, 表面覆蓋金屬氧化物也增強官能基吸收強度。
3. 再生後沸石顯示沸石表面結構與原沸石差異不大, 銀金屬含量無明顯減少; XRD 晶格也與原沸石相似, 表示沸石經再生性後其晶格無明顯改變, 為一穩定材料。
4. 銀銅金屬觸媒沸石皆具有兩個等電位點, 分別為 4.5 與 8.5。因鋁矽氧化物為雙性物質, 在酸性 (pH < 4) 與鹼性 (pH > 9) 環境下形成帶負電化合物, 銀銅金屬觸媒沸石第二個等電位點約為 pH 8.5。
5. 界達電位分析再生沸石其表面帶電略微下降至 pH 7.5, 五次與八次再生後的第二等電位點皆相近, 沸石再生後吸附細菌與真菌後會改變沸石表面帶電性, 但仍可維持 95% 以上的除菌效率。
6. 本研究使用含銀金屬觸媒沸石應用於空氣濾淨裝置, 對大腸桿菌、真菌除菌效率至少達 95%, 而含銅金屬觸媒沸石去除大腸桿菌、真菌效率可達 80%, 且均適用於液相裡去除細菌, 不易使菌種滋生, 未來可有效運用於改善室內空氣品質之生物氣膠, 並持續實際運用於各種場所了解實場運用之限制及成效。

## 參考文獻

- 行政院環保署，2005，室內空氣品質建議值。
- 李獻欽，2010，運用觸媒沸石去除室內空氣污染中甲醛及除菌之效能評估，碩士論文，國立雲林科技大學防災與環境工程研究所，台灣雲林。
- 張祐滋，2010，應用氧化亞銅結合沸石擔體系統進行室內除菌效能之研究，碩士論文，國立雲林科技大學防災與環境工程研究所，台灣雲林。
- 張靜文，1998，台灣地區醫療院所常見職業衛生問題研究，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，台灣台北。
- 曹德光，蘇達根，楊占印，2004，無機抗菌材料的制備技術及其新途徑，中國非金屬礦工業導刊，第39卷，第2期，頁6-7。
- 楊福助，吳國輝，林文博，洪登南，胡明寬，2008，竹炭/奈米銀抗菌織布製備及抗菌活性研究，化學，第66卷，第2期，頁159-165。
- 葉瑛，周玉航，夏枚生，胡彩虹，凌洪飛，2003，新型無機抗菌材：載銅蒙脫石及其抗菌機理討論，無機材料學報，第18卷，第3期，頁569-574。
- 謝祝欽，洪肇嘉，張仁瑞，徐啟銘，郭昭吟，2009，沸石吸附材料關鍵技術應用於醫療院所之研發（第一年度），國立雲林科技大學與中正大學，經濟部98年度在地型產業增值學界科專計畫。
- 謝祝欽，洪肇嘉，張仁瑞，徐啟銘，郭昭吟，2010，沸石吸附材料關鍵技術應用於醫療院所之研發（第二年度），國立雲林科技大學與中正大學，經濟部99年度在地型產業增值學界科專計畫。
- AFFCO, 1998, Cleaner, healthier environments: AFFCO enhances air filter performance with electrets composites, *Filtration and Separation*, Vol. 35, No. 2, pp. 118-122.
- Cik, G., Bujdakova, H., and Sersen, F., 2001, Study of fungicidal and antibacterial effect of the Cu (II) -complexes of thiophene oligomers synthesized in ZSM-5 zeolite channels, *Chemosphere*, Vol. 44, No. 3, pp. 313-319.
- Inoue, Y., Hoshino, M., Takahashi, H., Noguchi, T., Murata, T., Kanzaki, Y., Hamashima, H., and Sasatsu, M., 2002, Bactericidal activity of Ag-zeolite mediated by reactive oxygen species under aerated conditions, *Journal of Inorganic Biochemistry*, Vol. 92, No. 1, pp. 37-42.
- Lee, H. K., Shim, M. J., Lee, J. S., and Kim, S. W., 1996, Characteristics of CO gas adsorption on modified natural zeolite, *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 44, No. 1, pp. 79-84.
- Oya, A., Yoshida, S., Abe, Y., Lizuka, T., and Makiyama, N., 1993, Antibacterial activated carbon fiber derived from phenolic resin containing silver nitrate, *Carbon*, Vol. 31, No. 1, pp. 71-73.
- Rivera-Garza, M., Olguín, M. T., García-Sosa, I., Alcántara, D., and Rodríguez-Fuentes, G., 2000, Silver supported on natural Mexican zeolite as an antibacterial material, *Microporous and Mesoporous Materials*, Vol. 39, No. 3, pp. 431-444.
- Sondi, I. and Sallopek-Sondi, B., 2004, Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria, *Colloid and Interface Science*, Vol. 275, No. 1, pp. 177-182.

---

Received 1 April 2011  
Accepted 4 May 2011





# THE PHYSIC-CHEMICAL AND DISINFECTION CHARACTERISTICS FOR ZEOLITE WITH SILVER AND COPPER CATALYSTS

Jhan-Ping Lin\*, Yeoung-Sheng Wang\*\*, Jyun-Hong Shen\*\*,  
Jao-Jia Horng\*, Chu-Chin Hsieh\* and Chao-Yin Kuo\*

\*Department of Safety Health and Environmental and Safety Engineering  
\*\*Graduate School of Engineering Science and Technology  
National Yunlin University of Science and Technology  
Yunlin, Taiwan 64002, R. O. C.

## ABSTRACT

The self-made copper and silver zeolite catalysts were applied to air purifier module to simulate the improvement of indoor air quality and to remove bacteria (*E. coli*) and fungi. Silver-zeolite catalyst, made by impregnation and calcination, could achieve antibacterial efficiency of 95% while copper-zeolite by blending could reach 80%. This study investigated the correlations among physic-chemical properties of zeolite catalysts and their anti-bacterial efficiency by many instruments of TEM, SEM, ICP, FT-IR, XRD and measuring zeta potential, etc.

The observations by SEM and TEM form of impregnated Ag<sub>2</sub>O and blend Cu<sub>2</sub>O as nano-scaled metal particles on the surfaces of zeolite. Those samples were also acid-digested and analyzed by ICP-OES. The silver contents that coated on zeolite were lower than those concentrations used for impregnation, especially at 1%. The contents of copper were higher. The XRD results showed no Ag<sub>2</sub>O lattice peak and significant Cu<sub>2</sub>O lattice peaks. As the metal lattice increased, the peaks of SiO<sub>2</sub> lattice in zeolite were weakened. The FT-IR analysis indicated the functional groups in surface were mainly Si-O-Si and O-H. As the metal contents increase, the surface coverage of functional groups enhances the absorption intensity in analysis. Due to the amphoteric nature of silicate and aluminum oxides, the analysis of zeta potential showed two iso-electric points (ISPs). The second ISP of used zeolite reduced from pH 8.5 to pH 7.5—this change was probably due to the surface adsorption of bacteria and fungi. The anti-bacterial effects of silver coated zeolite were excellent even at very low silver contents.

**Keywords** : zeolite, silver, copper, anti-bacterial effect, filtration system