

論文

兩種不同方法產生的奈米銀微粒之形態特性分析

曾能駿¹ 武紅幸¹ 陳俊璋² 陳春萬² 蔡春進¹

¹ 國立交通大學環境工程研究所

² 勞動部勞動及職業安全衛生研究所

摘要

本研究使用蒸發／冷凝法與恆定霧化法產生奈米銀微粒，並利用微分電移動度分徑器(Differential Mobility Analyzer, DMA)篩選出30~300nm的單徑銀微粒，再以高溫爐改變其形貌，研究單徑微粒的電移動度粒徑(mobility diameter, d_m)、質量、有效密度以及肺泡區沉積表面積濃度的變化。結果顯示兩種微粒產生法的 d_m 變化都可以分為三個階段：蒸發／冷凝法在第一階段燒結溫度24~100°C時奈米微粒燒結情況不明顯， d_m 稍微變小；第二階段燒結溫度100~200°C， d_m 快速變小，燒結情況明顯，微粒也趨於橢圓狀；第三階段燒結溫度200~800°C，微粒粒徑變化不大，但微粒形貌持續改變且最後變成圓球狀。噴霧法所產生的銀微粒則會受到界面活性劑的影響，在燒結溫度大於400°C以上，因界面活性劑的蒸發， d_m 才有明顯的變化。由蒸發／冷凝法與恆定噴霧法所產生出的微粒的形貌差異非常大，前者產生的微粒是由許多原始微粒團聚而成且呈不規則狀，後者所產生出的銀膠微粒大部分都被界面活性劑所包覆並且接近圓球狀，因而造成兩種微粒的表面積形狀因子、動力形狀因子、微粒有效密度的差異。

關鍵詞：蒸發／冷凝法、恆定霧化法、奈米銀微粒、動力形狀因子、微粒有效密度

民國102年6月6日投稿，民國103年4月9日修改，民國103年4月25日接受。

通訊作者：蔡春進，國立交通大學環境工程研究所，電子信箱：cjtsai@mail.nctu.edu.tw。

緒言

大氣中奈米微粒與工程奈米微粒常以團聚的形式存在，如柴油引擎排放出的碳煙微粒與工程奈米微粒中的銀、氧化鋅、二氧化鈦即是[1-3]。在作業場所中，當員工暴露於不同種類、大小、形貌、質量、表面積、數目濃度的團聚奈米微粒時，將會對健康危害造成不同程度的影響。過去學者的研究結果指出微粒的結構與微粒傳輸特性有關[4-8]，也會影響微粒在大氣中的停留時間與在人體呼吸系統的沉積量。目前已有許多文獻研究不規則奈米微粒的形態特性參數[1,3,9]，對於氣膠微粒的量測已經有許多不同的儀器，但是量測尺度(measurement metrics)也盡不相同，如數目濃度的量測常使用掃描式電移動度分析儀(Scanning Mobility Particle Sizer, TSI model 3936, SMPS, TSI Inc., USA)、快速電移動度分析儀(Fast Mobility Particle Sizer, TSI Model 3091, FMPS, TSI Inc., USA)與引擎排氣直徑分析儀(Engine Exhaust Particle Sizer, TSI Model 3090, EEPS, TSI Inc., USA)等，表面積濃度量測則使用表面積濃度測定儀(Nanoparticle Aerosol Monitor AeroTrak™ 9000, TSI Inc., USA)，而質量則可用氣膠微粒質量分析儀(APM, Aerosol Particle Mass Analyzer, model 3601, Kanomax, Japan)，在獲得上述不同尺度的量測數據後，如何找出各個尺度間的關係與不同尺度間的轉換將會是未來相當重要的課題。本研究團隊將使用上述的部分儀器量測兩種不同奈米銀微粒產生方法所產生出奈米銀的數目、表面積、質量濃度及形貌系統[10]，以探討兩種不同產生方式的銀微粒形態特性。

研究方法

1. 微粒產生系統

本研究採用的微粒產生法分別為以下2種：(1)使用高溫爐(Lindberg/Blue, Laboratory Tube Furnace HTF55322A, max. temp 1200°C)加溫高純度銀粉(silver powder, 2-3.5 μm , 99.9+%, Sigma-Aldrich, USA)促成蒸發形成氣懸奈米銀微粒，微粒產生參數如表1，以乾淨空氣作為載流氣體利用質量流量控制氣(MFC, mass flow controller)控制在1.1 L/min，多徑奈米銀微粒將會被導入團聚槽體內，停留時間為320秒，此時微粒會因碰撞而團聚成120 nm左右的團聚奈米銀；(2)使用恆定式霧化器(Constant Output Atomizer, Model 3076, TSI Inc., MN, USA)將市售的銀膠懸浮液(colloidal silver, QF-Nag-75(w) 50-70nm，永朕材料科技股份有限公司)以霧化方式產生氣懸奈米銀微粒，以擴散式乾燥管(Diffusion Dryer, PD-50T-12, Perma Pure PD, USA)將包覆在微粒上的水分去除便可產生多徑奈米銀膠微粒。

上述2種微粒產生方法所產生之銀微粒皆使用DMA(TSI Model 3081)篩選出30、80、150、200、250及300nm的單徑奈米銀，再進入第二高溫爐(Lindberg/Blue, Laboratory Tube Furnace STF55433C-1, max. temp 1500°C)進行燒結以改變微粒形貌，最後通入4 L/min的乾淨補充氣體再導入後端的SMPS、APM、Aerotrak 9000及本團隊研發的濃縮式奈米微粒採樣器(concentrated nanoparticle sampler, CNS)，以量測微粒的數目濃度分佈、微粒質量、表面積濃度、電子顯微鏡樣品之採集，實驗設置如圖1所示。

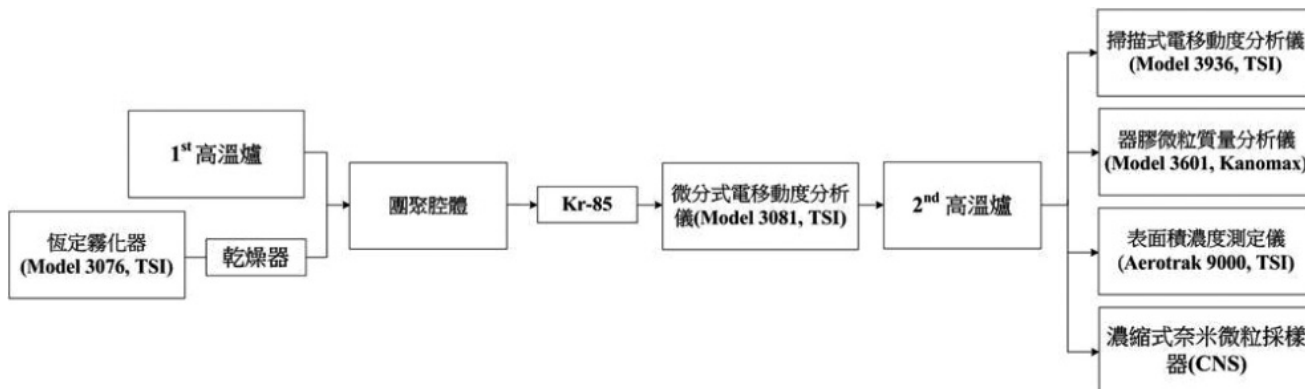


圖1 實驗設置

表1 銀微粒產生及燒結相關參數

類型	尺寸	停留時間(s)	溫度(°C)
第一台高溫爐微粒產生石英管	長度：900 (mm) 內徑：12.6 (mm)	2.6	1150
團聚腔	體積：6 (L)	320	24
第二台高溫爐燒結石英管	長度：900 (mm) 內徑：12.6 (mm)	2.8	24-800

在實驗進行前，熱電偶(Thermocouple thermometer, Model: ST-54 Type K, SUNTEX, Inc)將用於量測微粒產生管及微粒燒結管之溫度分佈，以確認設定溫度是否正確，量測結果顯示設定溫度與實際溫度間的誤差皆在10°C之內，如圖2所示。

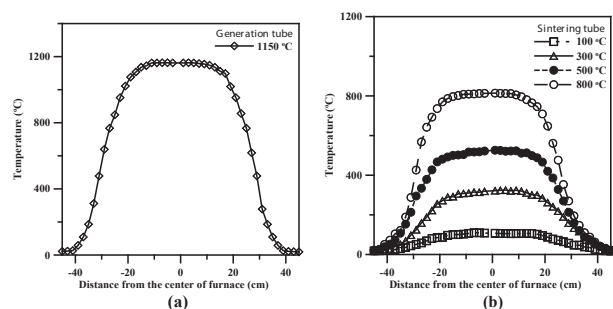


圖2 溫度分佈曲線：(a)產生爐之高溫管內部；
(b)燒結爐之高溫管內部。

2. 濃縮式奈米微粒採樣器

為了觀察微粒形貌，本團隊研發出一台 CNS 以製備穿透式電子顯微鏡(transmission

electrical microscopy, TEM)與掃描式電子顯微鏡(scanning electrical microscopy, SEM)樣品。此採樣器包含一個旋風器和一個濃縮微孔過濾器，其示意圖如圖3所示。在濃縮過濾裝置中有一多微孔噴嘴（含137個粒徑為55 μm的噴嘴），在操作流量為1.5 L/min（因微粒氣流為1.1 L/min，所以補充了0.4 L/min的乾淨氣體以供採樣）下的壓損為69 cm H₂O。相較於其他樣品製備方法，此微孔噴嘴不僅可將微粒集中於各個噴嘴下方也可縮減採樣時間。採樣時在噴嘴下方各放置一片PCTE(polycarbonate membrane filters)濾紙及一銅網(cooper grid)，即可同時完成SEM及TEM樣品製備。

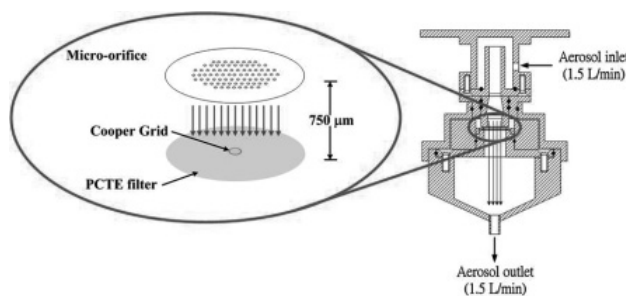


圖3 濃縮過濾式奈米採樣器示意圖

3. 微粒質量量測系統

在微粒質量量測的部分，本研究將燒結

後的單徑微粒通過微粒靜電中和器使微粒帶電中和，再利用APM測量這些微粒的質量。經篩選的單徑微粒將會以軸向方式進入環形通道(Annular Gap for Aerosol Flow)，隨即以和內、外旋轉電極(Inner and Outer Rotating Electrode)相同的角速度在通道中漂移，此時微粒同時受靜電力及離心力作用，當受力達到平衡時微粒即可通過篩選而被下游的微粒計數儀器所偵測。下游的CPC測到的微粒數目為峰值時的APM施加電壓(VAPM)即是對應微粒重量的峰值，微粒的重量 m 可由下列公式(1)計算：

$$m\omega^2 r = \frac{\pi}{6} d_{ve}^3 \rho_b \omega^2 r = neE_{APM} = \frac{n \cdot e \cdot V_{APM}}{r \cdot \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)} \dots \text{式(1)}$$

其中 m 為微粒質量； ω 為APM旋轉的速度； d_{ve} 為等似體積粒徑； r 為旋轉中心軸至環形缺口的軸向距離； ρ_b 為微粒塊材密度； n 為微粒帶電數（假設為1）； E_{APM} 為環形通道中的電場（其正比於 V_{APM} ）； r_1 、 r_2 為迴轉圓筒之外徑及內徑（分別為25 mm及24 mm）。

本研究為了確認APM的質量量測的正確性，建立了一套DMA-APM的標準圓球微粒(PSL)質量校正系統，如圖3.4所示。APM以手動操作(Local Model)並依照不同直徑設定其對應理論電壓值，然後調整的旋轉速度(可設定轉數為0至14000 rpm)，APM出口端連接CPC量測經特定轉數及電壓篩選後的微粒數目濃度，即可得知一數目濃度與轉數的反應圖譜，此時再以式1的計算便可得知微粒質量，最後與已知電移動度粒徑換算的體積相除便可得到該微粒的有效密度。

結果與討論

1. 銀微粒電移動度粒徑的變化

實驗室中，以蒸發/冷凝法產生銀微粒（以 $d_m=200$ nm為例）的TEM影像如圖4(a)所示，根據該圖可發現其結構由數10顆近乎圓球的原始奈米銀顆粒組成。本研究量測了381顆原始銀微粒粒徑(d_p)， d_p 分佈的範圍從5至25 nm且非常接近常態分佈，平均 d_p 為 13.54 ± 2.1 nm，如圖4(b)。

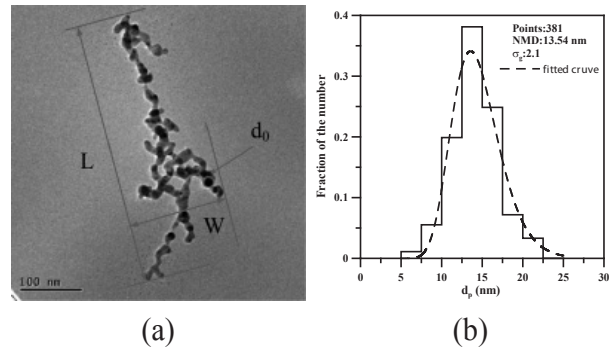


圖4 (a) $d_m=200$ nm的銀微粒TEM影像；(b)原始微粒數目分佈。

圖5為銀微粒及銀膠微粒經不同溫度燒結後，電移動度粒徑(d_m)的變化，蒸發/冷凝法的第一階段燒結溫度為 $24 \sim 100^\circ\text{C}$ ，奈米銀微粒燒結情況不明顯， d_m 變小一些但是不明顯；第二階段燒結溫度為 $100 \sim 200^\circ\text{C}$ ，微粒燒結情況明顯， d_m 很快的變小，微粒形貌在此階段中有明顯的變化；第三階段燒結溫度為 $200 \sim 800^\circ\text{C}$ ，此時 d_m 變化不大，且根據TEM影像微粒已成圓球狀，此結果與Weber and Friedlander (1997)和Shin et al. (2010)有相同的趨勢[12,13]。而噴霧法的結果也分為三階段，但受到界面活性劑的影響燒結溫度到大於 400°C 以上時， d_m 開始有明顯下降的趨勢，但大於

600°C後， d_m 的變化明顯減緩，造成此現象的原因為大部分的包覆在外層的界面活性劑已被燒結殆盡。

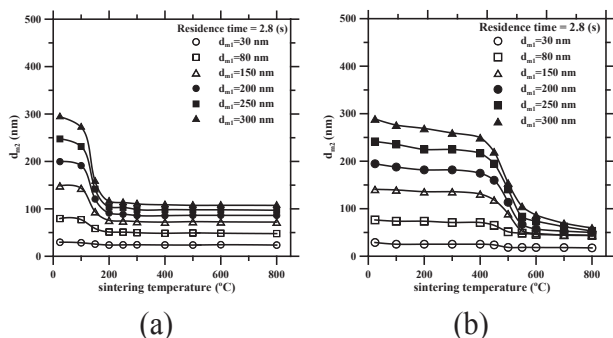


圖5 不同燒結溫度燒結下，微粒的 d_m ：(a)蒸發/冷凝法；(b)恆定霧化法。

2. 銀微粒的有效密度分析

圖6為銀微粒及銀膠微粒經不同溫度燒結後，微粒有效密度的變化。由圖6(a)發現當燒結溫度由100提升至200°C時，六種單徑銀微粒的微粒有效密度都明顯的提高且越來越接近銀的塊材密度(10.53 g/cm³)。此現象呼應了在第1節中銀微粒 d_m 在燒結溫度由100提升至200°C時明顯下降的結果，代表在此時銀微粒的形貌已經由原本鬆散的不規則狀逐漸成為緊密的圓球狀，因此有效密度也有所提升。

圖6(b)可以發現在燒結溫度大於400°C後，原本包覆於外層的界面活性劑蒸發，僅剩銀微粒而造成微粒的有效密度明顯上升。在燒結溫度大於600°C後，微粒的有效密度已變化不大，而當燒結溫度提升為800°C，所有的微粒有效密度都已經非常接近銀的塊材密度，由此結果可發現界面活性劑在燒結溫度為800°C時已被蒸發殆盡。

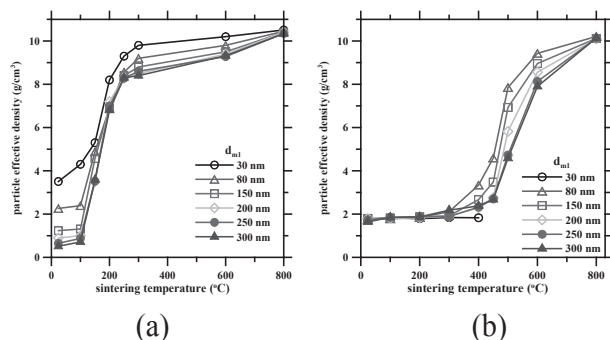


圖6 經不同溫度燒結後的微粒有效密度：(a)蒸發/冷凝法；(b)恆定霧化法。

3. 銀微粒的形狀特性

本研究以ImageJ(Research Services Branch, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA)影像分析軟體分析各個單徑銀微粒的形狀參數，其中分析項目包括最大投影長度(L)、寬度(W)、長寬比(β)與等似投影面積粒徑(d_{proj})，結果如表2所示。由分析結果可以發現 d_{proj} 與 d_m 的簡單的線性關係($d_{proj}=0.93d_m$)，當 d_m 為30至200 nm間時 β 則是在1.67~1.72之間，但當 d_m 在250 nm及300 nm以上時， β 有逐漸變大的趨勢，此原因與原始微粒粒徑及數目有關。

表2 未燒結的銀微粒的L、W、 β 與 d_{proj}

d_m (nm)	L(nm)	W(nm)	β	d_{proj} (nm)
30	42.5±10.3	25.5±6.0	1.72±0.47	28.7±3.5
80	206.7±76.8	135.7±78.5	1.70±0.55	81.0±10.2
	140.1±25.9a	83.4±18.9a	1.77±0.5a	75 ^a
150	267.2±62.9	184.1±41.7	1.71±0.41	142.3±21.6
	321.6±65.7a	186.4±37.1a	1.79±0.5a	145 ^a
200	420.2±61.9	282.9±54.4	1.67±0.45	193.8±11.8
250	620.1±130.8	301.1±60.2	1.84±0.44	242.2±24.3
300	793.0±131.9	435.7±129.8	1.93±0.51	296.8±40.3

^a Shin et al. (2009)之分析結果[4]

圖7及圖8為蒸發/冷凝法產生的銀微粒團在未燒結及800°C燒結後的TEM影像。由圖7可

以發現在未燒結時，除了粒徑30 nm的銀微粒之外都很明顯是由許多顆原始銀微粒所組成，且團聚都非常嚴重，微粒形貌呈鏈狀，此時微粒的有效密度將會遠小於銀的塊材密度。但經過800°C燒結後，原本不規則的銀微粒都已變成圓球形，如圖8所示，並且此時各個粒徑的微粒有效密度都已非常接近銀的塊材密度。

圖9及10為未燒結及經800°C燒結的銀膠微粒的TEM影像。由圖9可發現銀膠微粒的組成形式為界面活性劑包覆著30~80 nm不等的純銀微粒，形貌呈現接近橢圓狀，且EDS分析結

果顯示界面活性劑的主要成分為矽。在800°C燒結後，由圖10可明顯的看出原本包覆在銀微粒外的界面活性劑已完全蒸發，且EDS分析結果顯示剩下微粒的成分皆為銀。

4. 肺泡區沉積表面積量測及分析

本團隊結合SMPS的數目濃度分布與ICRP model肺泡沉積機率曲線算出之肺泡區沉積表面積且與AeroTack9000的實測值進行比較，SMPS與ICRP model肺泡區沉積機率曲線的換算方法如下列公式所示：

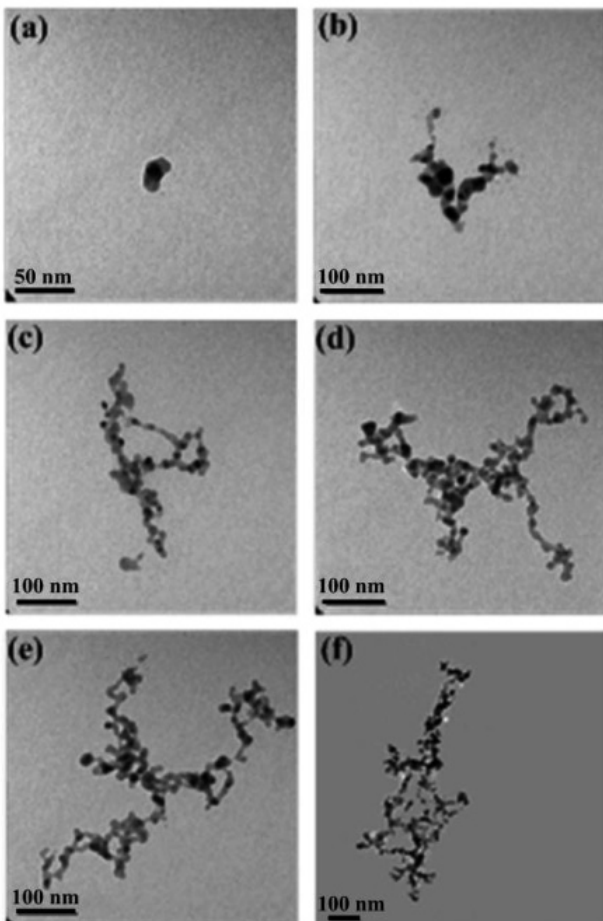


圖7 未燒結的團聚銀微粒TEM影像：(a)30 nm；(b)80 nm；(c)150 nm；(d)200 nm；(e)250 nm；(f)300 nm。

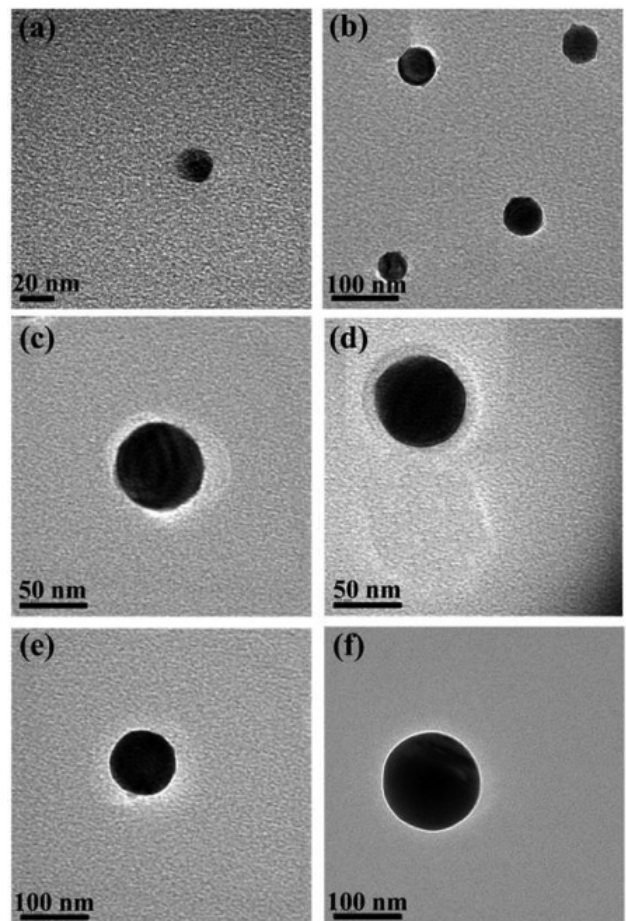


圖8 經800°C燒結的銀微粒TEM影像：(a)30 nm；(b)80 nm；(c)150 nm；(d)200 nm；(e)250 nm；(f)300 nm。

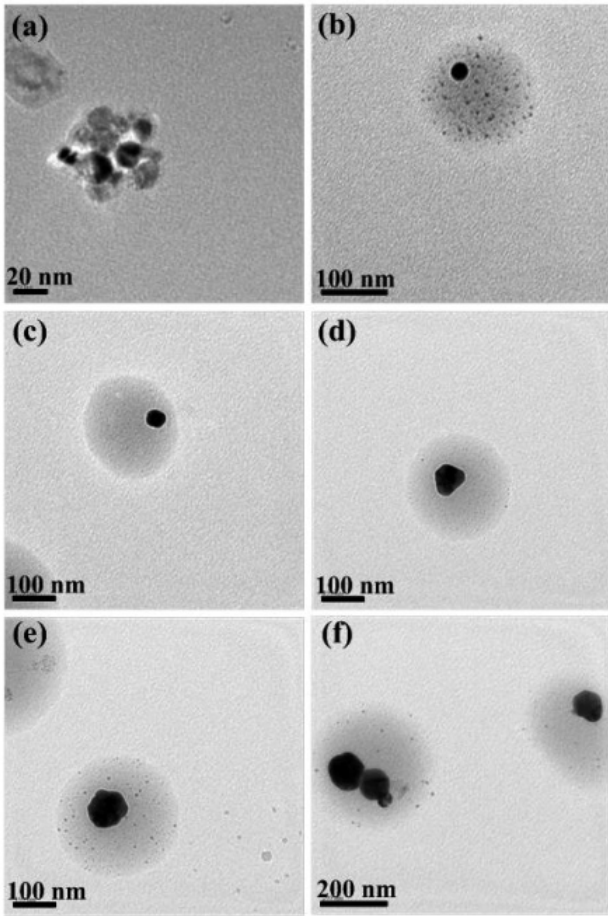


圖9 未燒結的銀膠微粒TEM影像：(a)30 nm；(b)80 nm；(c)150 nm；(d)200 nm；(e)250 nm；(f)300 nm。

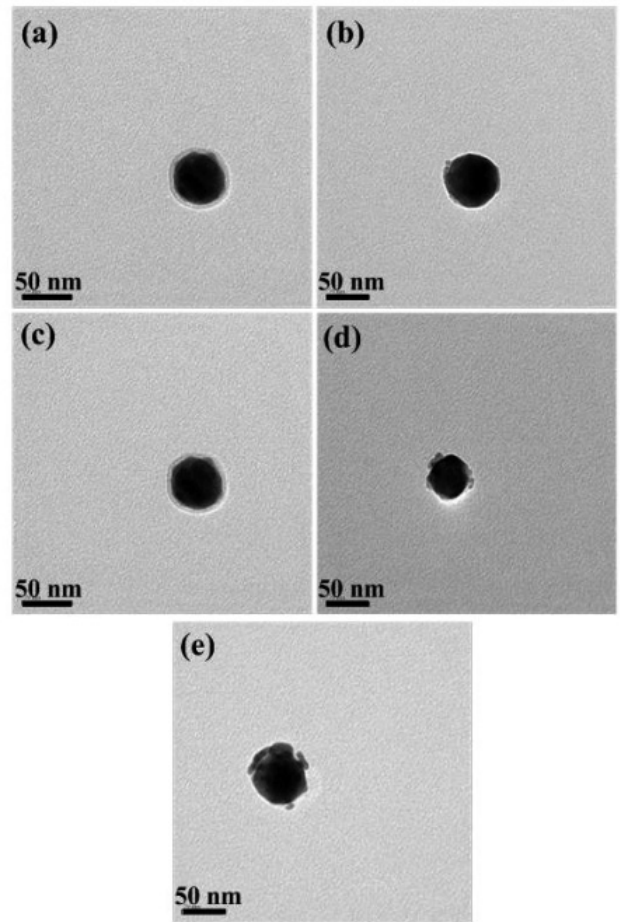


圖10 經800°C燒結的銀膠微粒TEM影像：(a)80 nm；(b)150 nm；(c)200 nm；(d)250 nm；(e)300 nm。

$$S_{SMPS,AL} = \sum_{i=1}^n \pi d_{m_i}^2 \times N_i(d_{m_i}) \times \eta_i(d_{m_i}) \cdots \text{式(2)}$$

其中 $S_{SMPS,AL}$ 為由SMPS進行換算後之肺泡區沉積表面積濃度； $N_i(d_{m_i})$ 為某粒徑區間內之數目濃度； $\eta_i(d_{m_i})$ 某粒徑之微粒沉積在肺泡區之效率。在未達完全燒結前，奈米銀微粒之形貌並非圓球狀，所以本研究利用下列公式定義一校正係數，稱其表面積之形狀因子(κ_s)，將實測值與理論計算值進行擬和：

$$S_{A,AL} = \kappa_s S_{SMPS,AL} \cdots \cdots \cdots \text{式(3)}$$

其中 $S_{A,AL}$ 為AeroTrack9000之實測值， κ_s 為表面積形狀因子。蒸發／核凝法及噴霧法所產生微粒的肺泡區沉積表面積濃度實測值與計算值比較結果，詳見附錄，在此節中僅以表面積形狀控制因子進行分析。本團隊發現隨著燒結溫度提升，銀微粒的 κ_s 也會越來越接近1，如圖11(a)。圖10(b)為銀膠微粒經不同溫度燒結後 κ_s 的變化結果，在未燒結、100、200、300、500、600與800°C燒結時， κ_s 總平均值的差異並不大且都非常接近1。由上述結果可發現在兩種微粒產生方法中，銀微粒 κ_s 的變化較銀膠微粒的 κ_s 明顯，原因為由前者所產出之微粒，在

未燒結前的微粒形貌為較鬆散且不規則的團聚銀微粒，而後者所產生出的銀膠微粒的形貌較緊實且近似圓球形。

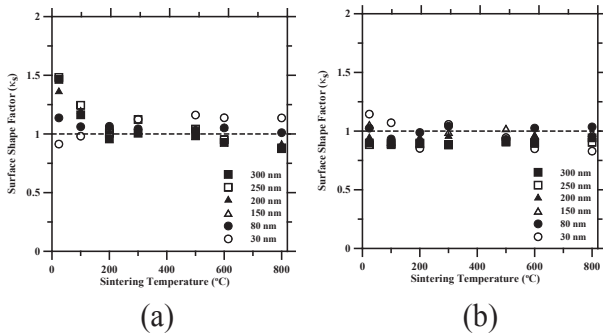


圖11 不同燒結溫度下 $d_m=30$ 、80、150、200、250及300nm微粒的 κ_s ：(a)蒸發／冷凝法；(b)恆定霧化法。

結論與建議

本研究發現恆定霧化法所產生出的銀膠微粒因添加了界面活性劑，所以造成微粒形貌及特性都與蒸發/冷凝法的銀微粒差異非常大。銀微粒隨著燒結溫度提高， d_m 逐漸縮小，形貌逐漸由鬆散且不規則狀變為緊密的圓球狀，有效密度也有所提升，直到與銀塊材密度相符。銀膠微粒會受到界面活性劑的影響，形貌會接近圓球狀，燒結溫度升高至400°C時，界面活性劑開始蒸發， d_m 明顯下降，大於600°C後， d_m 已變化不大，大部分的界面活性劑已被燒結殆盡。

此外，本團隊比較了兩種微粒產生法所產出微粒肺泡區沉積表面積濃度實測值與理論計算值，結果顯示隨著燒結溫度提升，銀微粒的 κ_s 也會越來越接近1。銀膠微粒的 κ_s 差異並不大且都非常接近1。銀微粒形貌為較鬆散且不規則，而銀膠微粒形貌較緊實且近似圓球形，因此造成在燒結溫度小於200°C時，前者的 κ_s

變化趨勢較後者明顯。綜合上述結果，對於AeroTack 9000量測不規則微粒時造成表面積濃度高估的情況仍需進一步釐清探討，以找出適當參數校正實測值與理論計算值間的差異。

致謝

本研究承蒙行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所101年度研究計畫(IOSH101-H324)經費支持，僅此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] Weber AP, Friedlander SK. In situ determination of the activation energy for restructuring of nanometer aerosol agglomerates. *Journal of Aerosol Science* 1997; 28: 179-92.
- [2] Shina WG, Mulhollandb GW, Pui DYH. Determination of volume, scaling exponents, and particle alignment of nanoparticle agglomerates using tandem differential mobility analyzers. *Journal of Aerosol Science* 2010; 41: 665-81.
- [3] Lall AA, Friedlander SK. On-line measurement of ultrafine aggregate surface area and volume distributions by electrical mobility analysis: I. Theoretical analysis. *Journal of Aerosol Science* 2006; 37: 260-71.
- [4] Shin WG, Wang J, Mertler M, Sachweh B, Fissan H, Pui DYH. Structural properties of silver nanoparticle agglomerates based on transmission electron microscopy: relationship to particle mobility analysis. *Journal of Aerosol Science* 2009; 11: 163-73.
- [5] Park K, Kittelson DB, McMurry PH. Structural properties of diesel exhaust particle measured by transmission electron microscopy (TEM): Relationships to particle mass and mobility.

- Aerosol Science and Technology 2004; 38: 881-9.
- [6] Köylü ÜÖ, Faeth GM, Farias TL, Carvalho MG. Fractal and projected structure properties of soot aggregates. *Combustion and Flame* 1995; 100: 621-33.
- [7] Oh C, Sorensen CM. The effect of overlap between monomers on the determination of fractal cluster morphology. *Journal of Colloid and Interface Science* 1997; 193: 17-25.
- [8] Eggersdorfer ML, Kadaub D, Herrmannb HJ, Pratsinisa SE. Aggregate morphology evolution by sintering: Number and diameter of primary particles. *Journal of Aerosol Science* 2012; 46: 7-19.
- [9] Meakin P, Donn B, Mulholland GW. Collisions between point masses and fractal aggregates. *Langmuir* 1989; 5: 510-8.
- [10] Rogak SN, Flagan RC, Nguyen HV. The mobility and structure of aerosol agglomerates. *Aerosol Science and Technology* 1993; 18: 25-47.
- [11] Sorensen CM. Light scattering by fractal aggregates: a review. *Aerosol Science and Technology* 2001; 35: 648-87.
- [12] Filippov AV, Zurita M, Rosner DE. Fractal-like aggregates: relation between morphology and physical properties. *Journal of Colloid and Interface Science* 2000; 229: 261-73.
- [13] Jang HD, Friedlander SK. Restructuring of chain aggregates of titania nanoparticles in the gas phase. *Aerosol Science and Technology* 1998; 29: 81-91.
- [14] 蔡春進、曾能駿、吳栢森、陳春萬、陳俊瑋：奈米微粒性質分析--空氣中性質測定與TEM或SEM照相。臺灣省新北市，勞工安全衛生研究所；2011。

附錄

銀微粒在不同燒結溫度下，以SMPS量測之數目濃度分佈經ICRP模式之肺泡沉積機率曲線換算出的肺泡區內沉積表面積濃度與Aerotrak 9000實測值。

燒結溫度 (°C)	微粒粒徑 (nm)	Aerotrak實測值 (m ² /cm ³)	根據SMPS理論計算值(m ² /cm ³)	表面積形狀因子 (κs)
24	300	82.98	56.65	1.46
	250	113.61	76.66	1.48
	200	150.02	110.3	1.36
	150	174.08	134.13	1.30
	80	90.93	79.98	1.14
100	30	2.12	2.32	0.91
	300	56.11	48.23	1.16
	250	81.96	65.86	1.24
	200	113.56	95.19	1.19
	150	160.39	136.49	1.18
200	80	85.59	80.63	1.06
	30	2.57	2.62	0.98
	300	23.99	25.05	0.96
	250	37.18	36.97	1.01
	200	46.59	45.63	1.02
300	150	69.84	64.52	1.08
	80	40.51	34.77	1.17
	30	1.19	1.14	1.04
	300	16.39	16.29	1.01
	250	24.40	21.73	1.12
500	200	43.31	43.26	1.00
	150	53.90	59.51	0.91
	80	37.90	30.48	1.24
	30	1.26	1.12	1.13
	300	20.11	20.44	0.98
600	250	24.40	23.42	1.04
	200	43.31	41.94	1.03
	150	53.91	49.27	1.09
	80	37.92	30.77	1.23
	30	1.26	0.96	1.31
800	300	15.93	17.18	0.93
	250	23.26	24.45	0.95
	200	32.93	31.38	1.05
	150	49.99	46.53	1.07
	80	38.36	36.48	1.05
	30	0.66	0.58	1.14
	300	14.66	16.63	0.88
	250	23.84	27.26	0.87
	200	29.19	32.07	0.91
	150	43.12	45.52	0.95
	80	32.12	31.78	1.01
	30	1.15	0.93	1.24

銀膠微粒經不同燒結溫度後，以SMPS所量測之數目濃度分佈經ICRP模式之肺泡沉積機率曲線換算出的肺泡區內沉積表面積濃度與Aerotrak 9000實測值。

燒結溫度 (°C)	微粒粒徑 (nm)	Aerotrak實測值 (m ² /cm ³)	根據SMPS理論計算值(m ² /cm ³)	表面積形狀因子 (κs)
24	300	21.9	22.14	0.99
	250	45.49	51.44	0.88
	200	77.29	81.96	0.94
	150	138.92	131.69	1.05
	80	89.29	87.11	1.03
100	30	4.67	4.08	1.14
	300	21.73	24.32	0.89
	250	34.38	38.36	0.90
	200	75.18	82.71	0.91
	150	125.53	138.12	0.91
200	80	77.53	83.14	0.93
	30	3.92	3.66	1.07
	300	24.78	27.57	0.90
	250	41.01	46.31	0.89
	200	71.71	76.18	0.94
300	150	106.83	112.03	0.95
	80	69.97	70.82	0.99
	30	4.18	4.67	0.90
	300	20.81	23.48	0.89
	250	26.71	30.31	0.88
500	200	61.49	64.40	0.95
	150	94.17	95.03	0.99
	80	70.53	67.73	1.04
	30	2.24	2.10	1.07
	300	17.73	19.54	0.91
600	250	29.0	31.81	0.91
	200	61.75	66.78	0.92
	150	62.16	60.79	1.02
	80	29.65	31.93	0.93
	30	2.56	2.71	0.94
800	300	21.16	22.94	0.92
	250	29.35	31.62	0.93
	200	59.21	61.79	0.96
	150	87.62	90.98	0.96
	80	53.29	51.97	1.03
	30	2.58	2.92	0.88
	300	12.86	13.64	0.94
	250	44.69	47.18	0.95
	200	38.26	40.07	0.95
	150	50.45	51.21	0.99
	80	63.08	60.92	1.04
	30	2.87	3.22	0.89

Research Articles

Characterizations of Silver Nanoparticles Generated from Two Different Methods

Neng-Chun Tseng¹ Hong-Hanh Vu¹ Chun-Wei Chen²
Chuen-Wann Chen² Chuen-chin Tsai¹

¹ Institute of Environmental Engineering, National Chiao Tung University

² Institute of Labor, Occupational Safety and Health, Ministry of Labor

Abstract

In this study, the silver agglomerates and silver colloids were generated by evaporation/condensation method and constant output atomizer. The differential mobility analyzer (DMA) was used to classify the monodisperse particles with mobility diameters of 30, 80, 150, 250 and 300 nm, and then sintered by second furnace from 24 to 800°C. The scanning mobility particle sizer (SMPS), aerosol particle mass analyzer (APM), Aerotrak 9000 were used to measure the particulate size distribution, mass, alveolar deposited surface area concentration, respectively. Agglomerates are sampled using the microorifice-based concentrated nanoparticle sampler (CNS) and then analyze by TEM. The results showed that number median diameters (NMDs) of silver agglomerates were significantly reduced for sintering temperature from 100 to 200°C, but showed little variation for sintering temperature above 200°C. And NMDs of silver colloids were significantly changed for sintering temperature above 400°C due to the surfactants. The silver agglomerates generated by evaporation/condensation method were found to be irregular and composed of several primary particles as observed by the TEM images. However, silver colloids generated by constant output atomizer were covered with the surfactant and presented spherical shape which result in the differences in surface shape factor, dynamic shape factor and particle effective density.

Keywords: Evaporation/condensation method, Constant output atomizer, Alveolar deposited surface area concentration

Accepted 25 April, 2014

Correspondence to: Chuen-chin Tsai, Institute of Environmental Engineering National Chiao Tung University, E-mail: cjtsai@mail.nctu.edu.tw