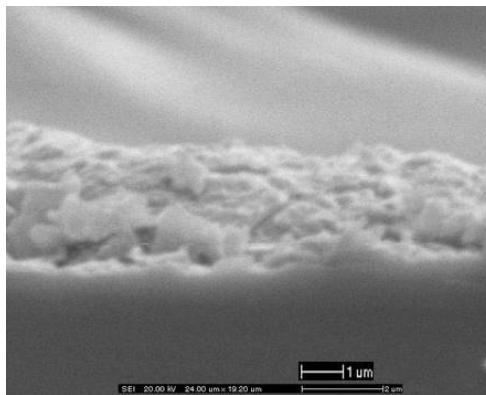


3. การหาความหนาของฟิล์มบางโดยเทคนิค SEM

การถ่ายภาพด้านข้างของชิ้นงานที่ได้จากการพ่นเคลือบ สารละลายผสมตั้งต้นระหว่างซี เรียมไนเตรดกับซามาเรียมไนเตรด ในตัวทำละลายเอทานอลบนซับสเตรต ที่ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ระยะเวลาในการพ่น 2 ชั่วโมง อัตราการไหล 0.84 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง แรงดันไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ระยะพ่น 13 เซนติเมตร และอุณหภูมิที่ซับสเตรตเท่ากับ 450 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.2.21

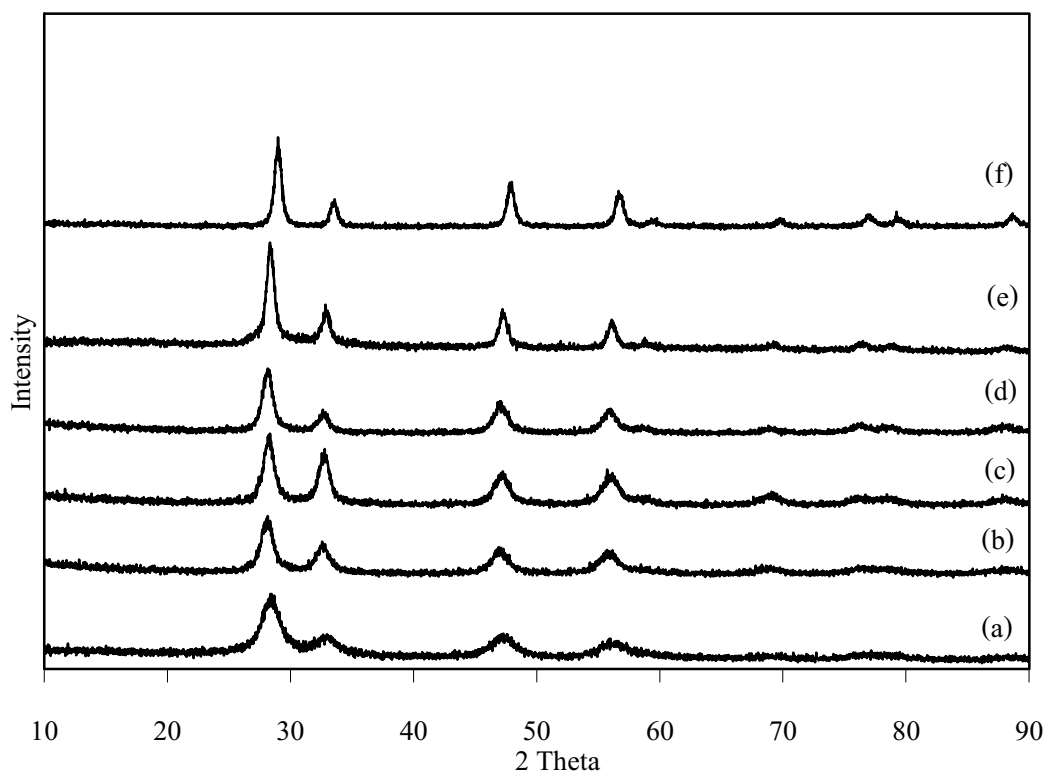


รูปที่ 2.2.21 ภาพถ่าย SEM ด้านข้าง

ชั้นล่างสุดคือสแตนเลสซึ่งเป็นส่วนที่เป็นซับสเตรต และความหนาของฟิล์มบางคือชั้นที่ติดกับชั้นของซับสเตรต ซึ่งมีความหนาประมาณ 2 ไมครอน พบว่าที่ผิวด้านข้างมีความหนาแน่น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคการพ่นฝอยด้วยไฟฟ้ามีพื้นผิวด้านหน้าและด้านข้างที่มีความหนาแน่น

4. ผลการทดสอบโดยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD)

การทดสอบ XRD กับฟิล์มบางที่เตรียมได้ โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2.22 ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลของฟิล์มบางที่เตรียมได้ โดยทำการพ่นเคลือบ ณ อุณหภูมิของซับสเตรต 300, 400, 450 และ 500 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส ได้นำฟิล์มที่เตรียมได้ไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนในเตาเผา หัวเข็มที่ใช้พ่นเป็นหัวเข็มแบบมาตรฐาน ระยะเวลาในการพ่น 2 ชั่วโมง อัตราการไหลของสารละลายผสม 0.84 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง แรงดันไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ และ ระยะพ่น 13 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.2.22



รูปที่ 2.2.22 สเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่ได้จากการพ่นสารละลายผสมตั้งต้นในตัวทำละลายเอทานอล ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ณ อุณหภูมิ (a) 300 องศาเซลเซียส, (b) 400 องศาเซลเซียส, (c) 450 องศาเซลเซียส, (d) 500 องศาเซลเซียส, (e) 600 องศาเซลเซียส และ (f) 700 องศาเซลเซียส

จากการทดลองพบว่าการเตรียมฟิล์มบางโดยใช้เทคนิคการพ่นฝอยด้วยไฟฟ้าของสารละลายผสมระหว่างซีเรียมไนเตรดและซามาเรียมไนเตรด ในตัวทำละลายเอทานอล จะปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 28, 33, 47, และ 56 ที่มีระนาบของผลึกที่เกิดจากการเลี้ยวเบน คือ (111), (200), (220) และ (311) ตามลำดับ เมื่อทำการพ่นเคลือบ ณ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พีคจะแหลมคม และปรากฏชัดเจนมากขึ้น เนื่องจากฟิล์มบางมีความเป็นผลึกมากขึ้น ณ อุณหภูมิตั้งแต่ 450 องศาเซลเซียส ขึ้นไปจะปรากฏพีค ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 69, 76 และ 79 ชัดเจนขึ้น ที่มีระนาบของผลึกที่เกิดการเลี้ยวเบนคือ (400), (331) และ (420) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ JCPDF No. 34-394 สรุปได้ว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้ คือ วัสดุซีเรียที่ถูกเจือด้วยซามาเรียม

5. รูปร่างของหัวเข็ม

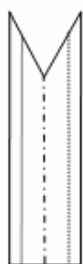
เข็มที่ใช้ในการพ่นฝอยมี 3 ชนิดคือ 1. เข็มมาตรฐาน มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.711 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.394 มิลลิเมตร มีความเอียงของปลายที่ตัด 15 องศา 2. หัวเข็มแบบปากฉลาม มีความเอียงของปลายที่ตัด 30 องศา มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.711 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.394 มิลลิเมตร 3. เข็มที่ด้านปลายมีลักษณะตัดตรง มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.711 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.394 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.2.23 สภาวะที่ใช้ในการทดลองคือใช้อัตราการป้อนสารละลายที่ 0.84 ml/hr ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับซับสเตรต ที่ 13 เซนติเมตร และใช้ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ใช้เวลาในการพ่นนาน 2 ชั่วโมง

Wedge tip



$\theta = 15^\circ$
 $\phi_i = 0.394 \text{ mm}$
 $\phi_o = 0.711 \text{ mm}$

Sawtooth tip



$\theta = 30^\circ$
 $\phi_i = 0.394 \text{ mm}$
 $\phi_o = 0.711 \text{ mm}$

Flat tip

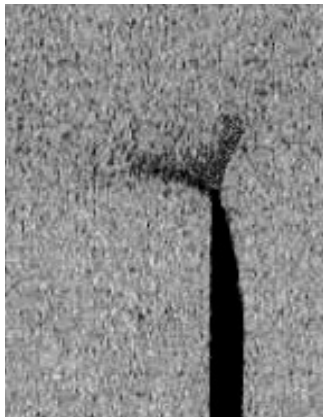


$\theta = 0^\circ$
 $\phi_i = 0.394 \text{ mm}$
 $\phi_o = 0.711 \text{ mm}$

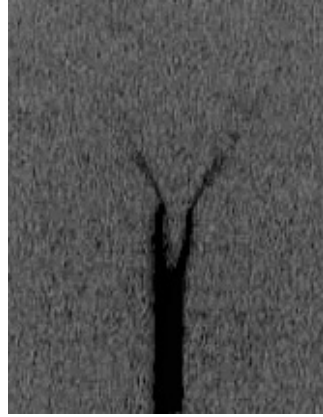
รูปที่ 2.2.23 รูปร่างของหัวเข็มที่ใช้ในการพ่นสารละลายตั้งต้น (θ = tip angle, ϕ_i = inner diameter และ ϕ_o = outer diameter)

รูปแบบการพ่นฝอยและการกระจายตัวของ Droplet โดยใช้หัวเข็มที่มีรูปร่างแตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 2.2.24 การใช้หัวเข็มมาตรฐานและหัวเข็มแบบปากฉลาม จะทำให้สารละลายตั้งต้นพ่นออกมาจากบริเวณปลายแหลมของเข็ม ดังนั้นจึงทำให้เข็มมาตรฐานมีตำแหน่งการพ่นฝอย 1 ตำแหน่ง ในขณะที่เข็มแบบปากฉลามมีตำแหน่งการพ่นฝอย 2 ตำแหน่ง และเข็มหัวตัด การพ่นฝอยจะเกิดรอบเส้นรอบวงของปลายเข็ม จากผลการทดลองที่ได้พบว่าฟิล์มที่ปกคลุมบนซับสเตรตโดยใช้หัวเข็มแบบมาตรฐานและหัวตัดมีลักษณะเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ส่วนหัวเข็มแบบปากฉลามจะมีร่องรอยที่ปกคลุมอยู่บนซับสเตรต เป็นรูปวงรี เนื่องจากตำแหน่งในการเกิดการพ่นฝอยของหัวเข็มแบบปากฉลามจะมี 2 ตำแหน่งบริเวณปลายแหลมทำให้เกิดการ

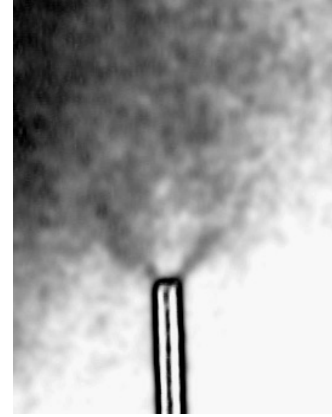
ซ้อนทับกันของวงกลม 2 วง จึงเห็นรูปแบบการพันฝอยเป็นวงรี (รูปที่ 2.2.25) นอกจากนี้ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่าหัวเข็มแบบปลายตัดจะเกิดการพันฝอยรอบเส้นรอบวงของปลายเข็มทำให้มีมุมในการพันฝอยที่กว้างกว่าหัวเข็มอื่น และยังทำให้เกิดการพันฝอยที่สม่ำเสมออีกด้วย



(a)

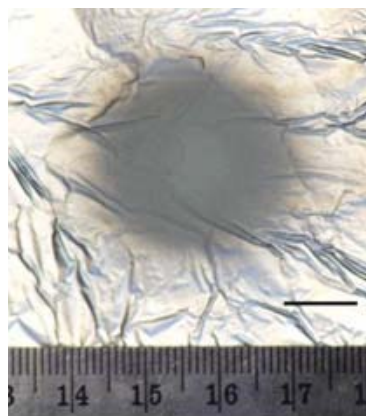


(b)

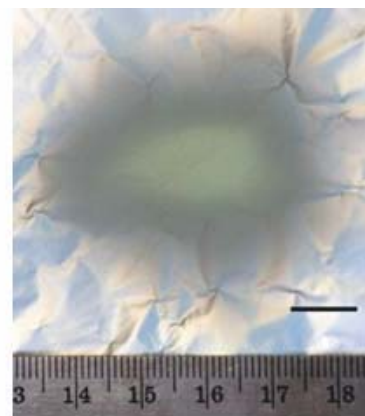


(c)

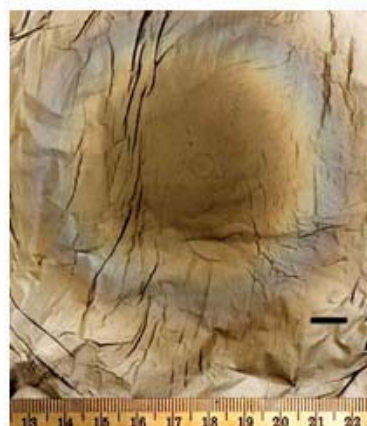
รูปที่ 2.2.24 รูปถ่ายของละอองฝอยในขณะปั่นที่ได้จากการใช้หัวเข็มที่มีรูปร่างแตกต่างกัน (a) wedge tip; (b) sawtooth tip; (c) flat tip.



(a)



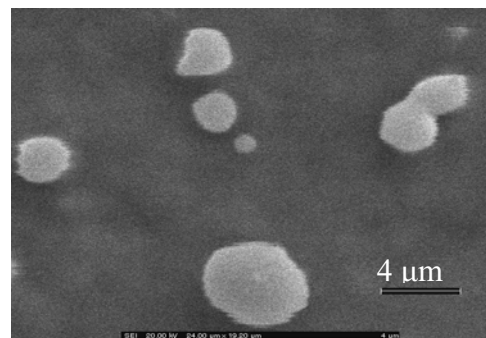
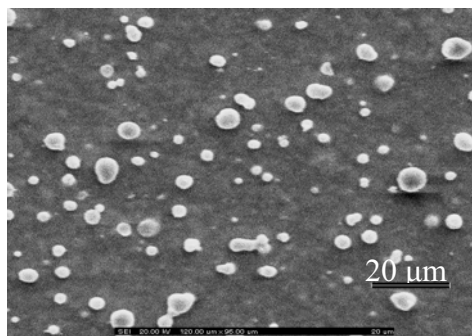
(b)



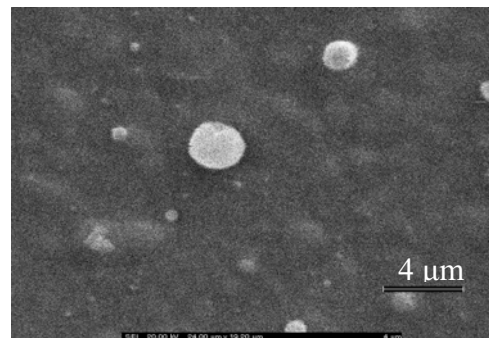
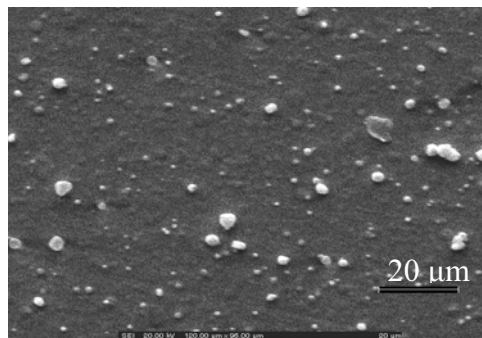
(c)

รูปที่ 2.2.25 รูปถ่ายบริเวณซึบสเตรตที่ได้จากการใช้หัวเข็มที่มีรูปร่างแตกต่างกัน (a) wedge tip; (b) sawtooth tip; (c) flat tip.

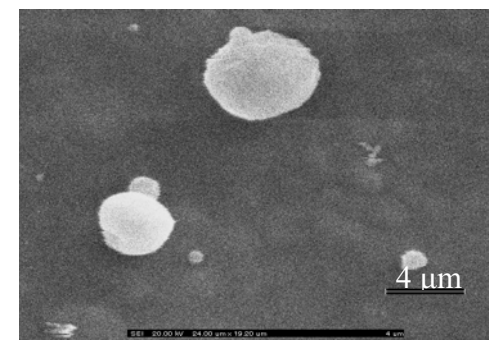
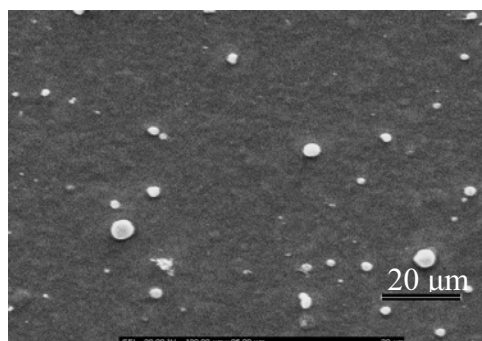
ภาพจาก SEM ในรูปที่ 2.2.26 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่ได้จากการใช้หัวเข็มทุกชนิดมีความหนาแน่น (Dense) และไม่มีรอยแตก อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้หัวเข็มแบบตัดจะได้ฟิล์มที่มี Agglomerate ต่ำกว่าการใช้หัวเข็มแบบปากฉลามและหัวมาตรฐานตามลำดับ ภาคตัดขวางของ SEM ในรูปที่ 2.2.27 สอดคล้องกับผลที่ได้จากภาพด้านบนของ SEM ในรูปที่ 2.2.26 จะเห็นได้ว่าฟิล์มทั้งหมดมีความหนาแน่น นอกจากนี้จะเห็นว่าเมื่อใช้หัวเข็มแบบปากฉลามจะได้ฟิล์มที่หนากว่าการใช้หัวมาตรฐานและหัวเข็มแบบตัดตามลำดับ ซึ่งฟิล์มที่ได้มีความหนา 560, 440 และ 240 nm สำหรับหัวเข็มแบบปากฉลาม แบบมาตรฐานและแบบตัด ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจาก AFM จะพบว่าฟิล์มที่ได้จากการใช้หัวเข็มแบบปลายตัดจะมีความขรุขระน้อยที่สุด (รูปที่ 2.2.28)



(a)

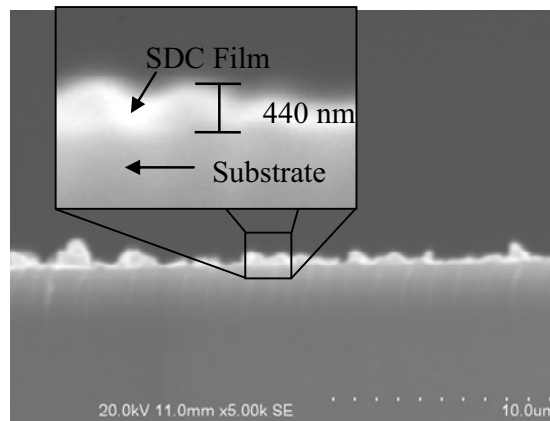


(b)

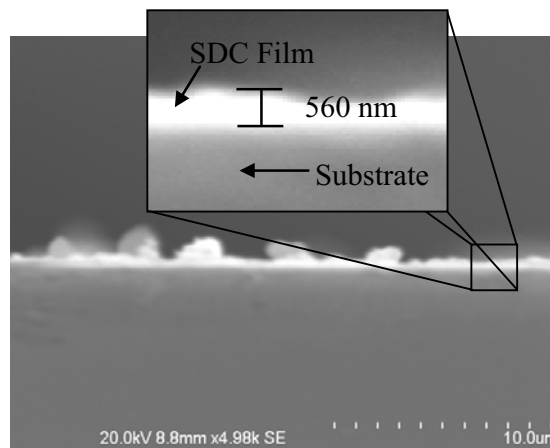


(c)

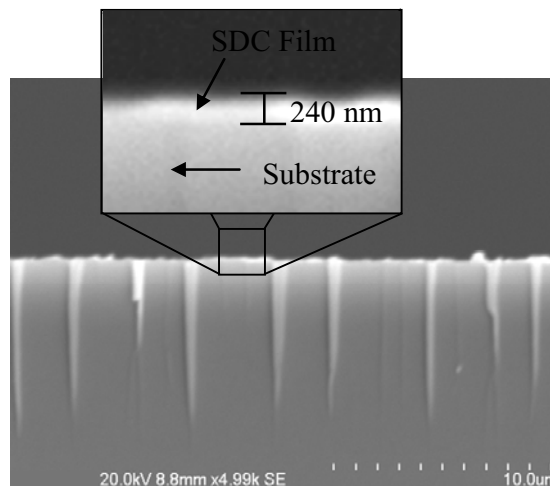
รูปที่ 2.2.26 ภาพ SEM ของฟิล์ม SDC ที่ได้จากการใช้หัวเข็ม (a) wedge tip; (b) sawtooth tip; (c) flat tip



(a)

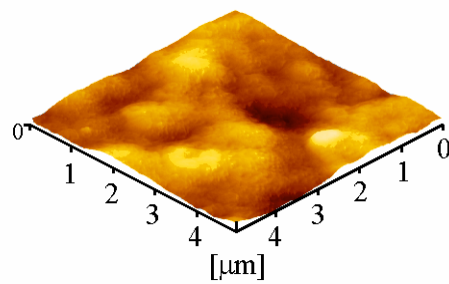
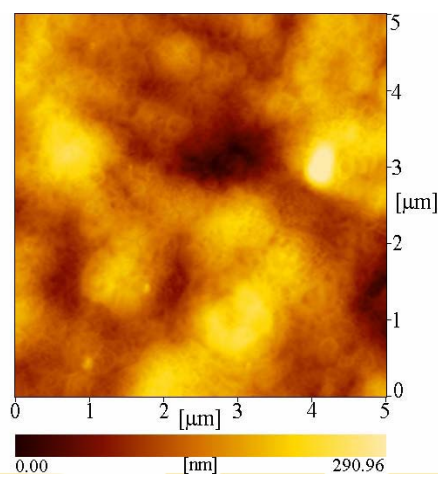
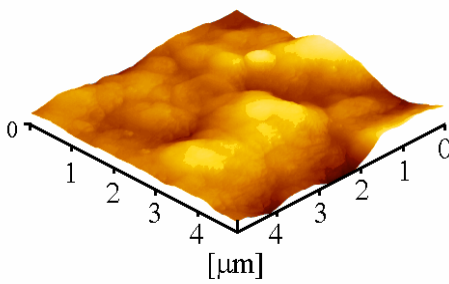
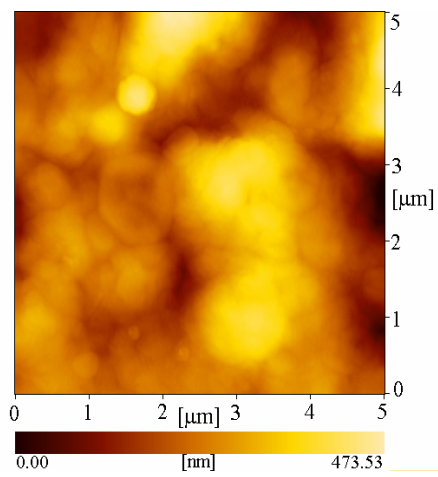
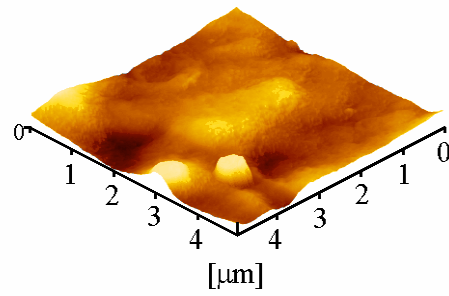
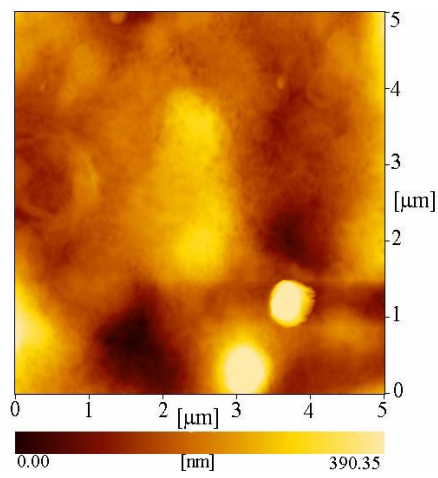


(b)



(c)

รูปที่ 2.2.27 ภาพตัดขวาง SEM ของฟิล์ม SDC ที่ได้จากการใช้หัวเข็ม (a) wedge tip; (b) sawtooth tip; (c) flat tip

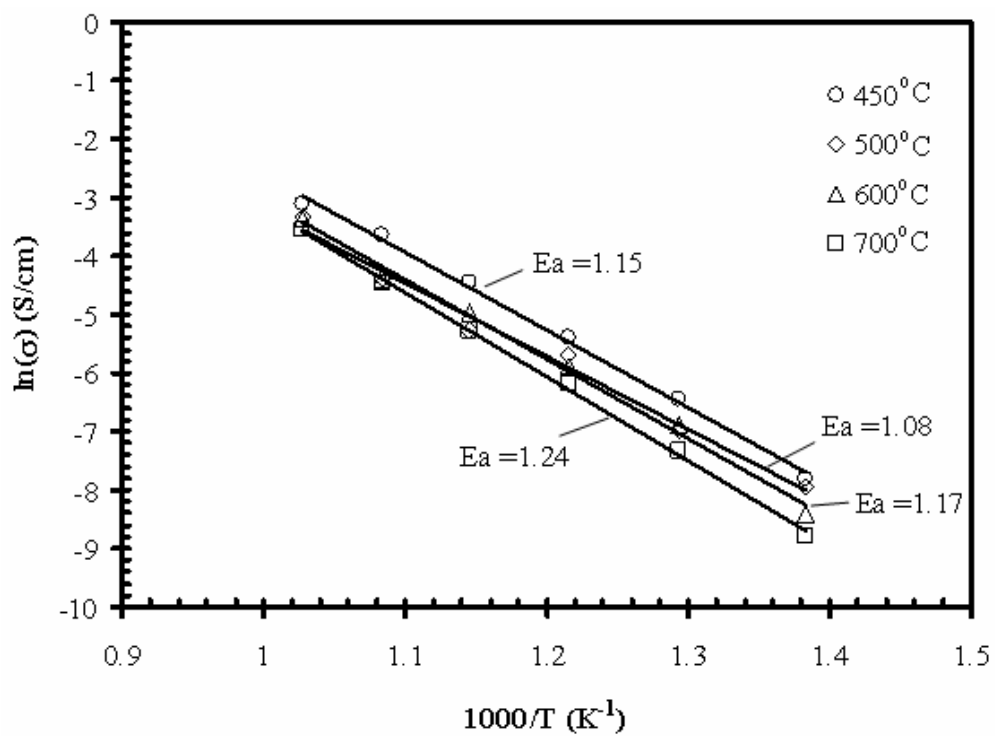


(c)

รูปที่ 2.2.28 ภาพ AFM ของฟิล์ม SDC ที่ได้จากการใช้หัวเข็ม (a) wedge tip; (b) sawtooth tip; (c) flat tip

6. การวัด Oxygen-ion conductivity

ผลการวัด Oxygen-ion conductivity ด้วยเทคนิค DC four point probe ภายใต้สภาวะแก๊สออกซิเจน โดยใช้ Keithley 6517A พบว่า ค่าการนำออกซิเจนไอออนของฟิล์ม SDC ที่เตรียมได้ในสภาวะอุณหภูมิ 450 °C มีค่าการนำออกซิเจนไอออนสูงกว่าฟิล์มที่เตรียม ณ อุณหภูมิอื่น ๆ อาจเนื่องจากขนาดของผลึก (Crystalline size) มีขนาดเล็กกว่า จากค่าการนำออกซิเจนไอออนที่ได้ พบว่าฟิล์ม SDC ที่เตรียมได้นี้สามารถนำมาใช้งานที่อุณหภูมิตั้งแต่ 700 °C ขึ้นไป เนื่องจากมีค่าการนำออกซิเจนไอออนสูงกว่า 0.05 S/cm



รูปที่ 2.2.29 การเปลี่ยนแปลงของการนำออกซิเจนไอออนของฟิล์ม SDC เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ

2.3 การประดิษฐ์เครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิตเครื่องใหม่

เครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิตโดยใช้เทคนิคการพ่นสารละลายออกจากหัวพ่นฝอยโดยใช้แรงดันทางไฟฟ้าสถิตเครื่องใหม่นี้สามารถปรับระบบการพ่นให้มีทิศทางการพ่นทั้งในแนวด้านทานแรงโน้มถ่วงของโลก และตามแรงโน้มถ่วงของโลก หรือทิศทางอื่น ๆ ตามที่ต้องการได้โดยสามารถหมุนชุดหัวพ่นฝอย และชุดแผ่นรองรับได้ไม่เกิน 180 องศา

สำหรับบริเวณชุดหัวพันฝอยนั้นจะต่อเข้ากับขั้วบวก และชุดแผ่นรองรับต่อเข้ากับขั้วลบ เครื่องพันฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิตนี้ได้ออกแบบให้สามารถจับยึดแผ่นตัวรองรับ โดยไม่มีการบดบังจากตัวจับยึดแผ่นรองรับ อีกทั้งยังสามารถให้ความร้อนกับแผ่นรองรับได้อย่างทั่วถึง นอกจากนี้ยังสามารถปรับระยะห่างระหว่างหัวพันฝอยกับแผ่นรองรับ และปรับมุมเอียงระหว่างหัวพันฝอย และแผ่นรองรับได้อย่างอิสระ อีกทั้งยังสามารถนำแผ่นรองรับประกอบเข้า และเอาออกจากชุดให้ความร้อนได้อย่างง่ายดาย เครื่องพันฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต ดังแสดงในรูปที่ 2.3.1 มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนดังนี้

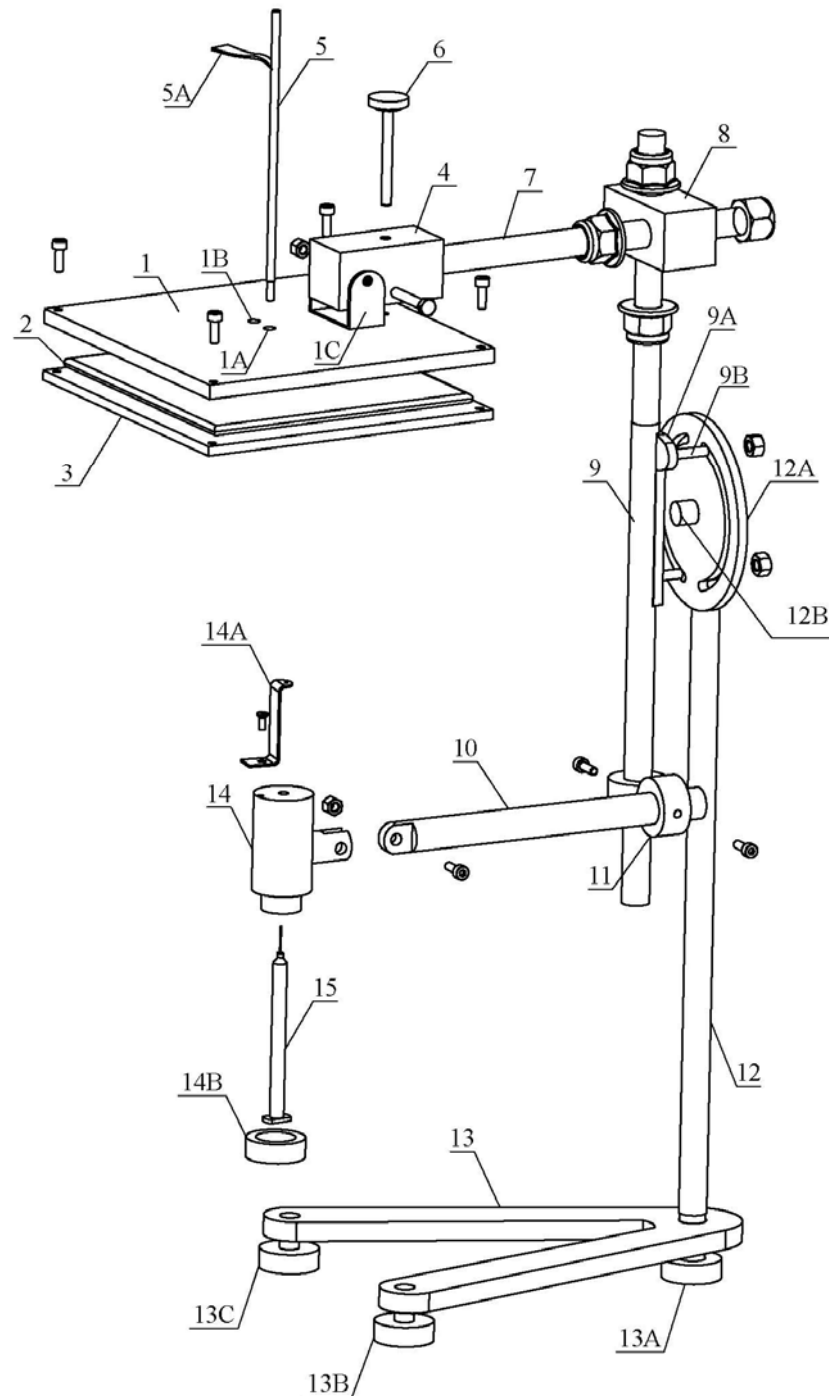
ส่วนที่หนึ่ง คือ โครงสร้างหลักของเครื่อง ซึ่งประกอบด้วยฐานเครื่อง 13 ที่บริเวณฐานเครื่องจะประกอบไปด้วยตัวปรับระนาบของเครื่อง 13A ,13B และ13C สำหรับเสาหลัก 12 ซึ่งเป็นเสาที่ปลายด้านหนึ่งทำเกลียวเพื่อยึดอยู่กับฐานเครื่อง 13 ส่วนอีกด้านต่อกับแผ่นวงกลมที่ถูกเจาะร่องเป็นรูปวงกลมไว้สำหรับยึดติดกับกับเสาของ 9 โดยที่เสาของ 9 จะเป็นเสาที่สามารถหมุนรอบตัวเองได้ 180 องศา การจับยึดระหว่างเสาหลักและเสาของจะยึดติดกันที่ตำแหน่ง 9A และ 12A โดยมีเดือย 12B สวมเข้ากับลูกปืนที่ฝังอยู่ในเสาของ ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ครึ่งวงกลม (180 องศา) ส่วนเดือย 9B จะทำหน้าที่ล็อกตำแหน่งการหมุน หรือองศาการหมุนของเสาของ และเป็นตัวยึดให้เสาของ 9 ยึดติดกับเสาหลัก 12 สำหรับบริเวณปลายเสาของ 9 ทั้งสองด้านจะต่อกับคานจับยึดชุดแผ่นรองรับ 7 และคานจับยึดชุดหัวพันฝอย 10 โดยมีข้อต่อ 8 เป็นตัวจับยึดระหว่างเสาของ 9 กับคานจับยึดชุดแผ่นรองรับ 7 และข้อต่อ 11 เป็นตัวจับยึดเสาของ 9 กับคานจับยึดชุดหัวพันฝอย 10

ส่วนที่สอง คือชุดหัวพันฝอย สามารถนำหลอดนิกเกีย พร้อมเข็ม 15 ที่มีขายตามท้องตลาดมาใช้เป็นหัวพันฝอยได้เลย สำหรับการประกอบชุดหัวพันฝอยนี้จะนำหลอดนิกเกียพร้อมเข็ม 15 มาใส่ในกระบอกพลาสติก 14 ซึ่งที่ปลายกระบอกพลาสติกด้านหนึ่งจะทำเกลียวนอกไว้สำหรับสวมเข้ากับปลอกพลาสติก 14B ที่ด้านในทำเกลียวในไว้ ขณะที่ใส่หลอดนิกเกียพร้อมเข็ม 15 ต้องให้ปลายเข็มนิกเกียที่เป็นโลหะ ลอดรูแผ่นโลหะพับ14A และให้ฐานเข็มนิกเกียสัมผัสกับแผ่นโลหะพับ 14A ที่บริเวณด้านบนของแผ่นโลหะพับ 14A ถูกเจาะเป็นรูสำหรับให้ปลายเข็มนิกเกียสอดผ่านไปได้ ส่วนบริเวณด้านล่างของแผ่นโลหะพับ 14A จะต่อเข้ากับกระบอกพลาสติก 14 และ ณ บริเวณนี้เองจะเป็นบริเวณที่ต่อเข้ากับขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงชนิดกระแสตรง จากนั้นนำปลอกพลาสติก 14B มายึดให้หลอดนิกเกียพร้อมเข็ม 15 แน่นติดกับกระบอกพลาสติก เมื่อประกอบเรียบร้อยแล้วส่วนนี้จะเรียกว่า ชุดหัวพันฝอย สำหรับบริเวณฐานด้านล่างของชุดหัวพันฝอยทำการต่อเข้ากับท่อยางที่ต่อร่วมกับปั๊มสำหรับป้อนสารละลายที่ต้องการพ่น ชุดหัวพันฝอยนี้เมื่อต่อเข้ากับคานจับยึดชุดหัวพันฝอย 10 จะสามารถปรับมุม หรือทิศทางในการพ่นได้

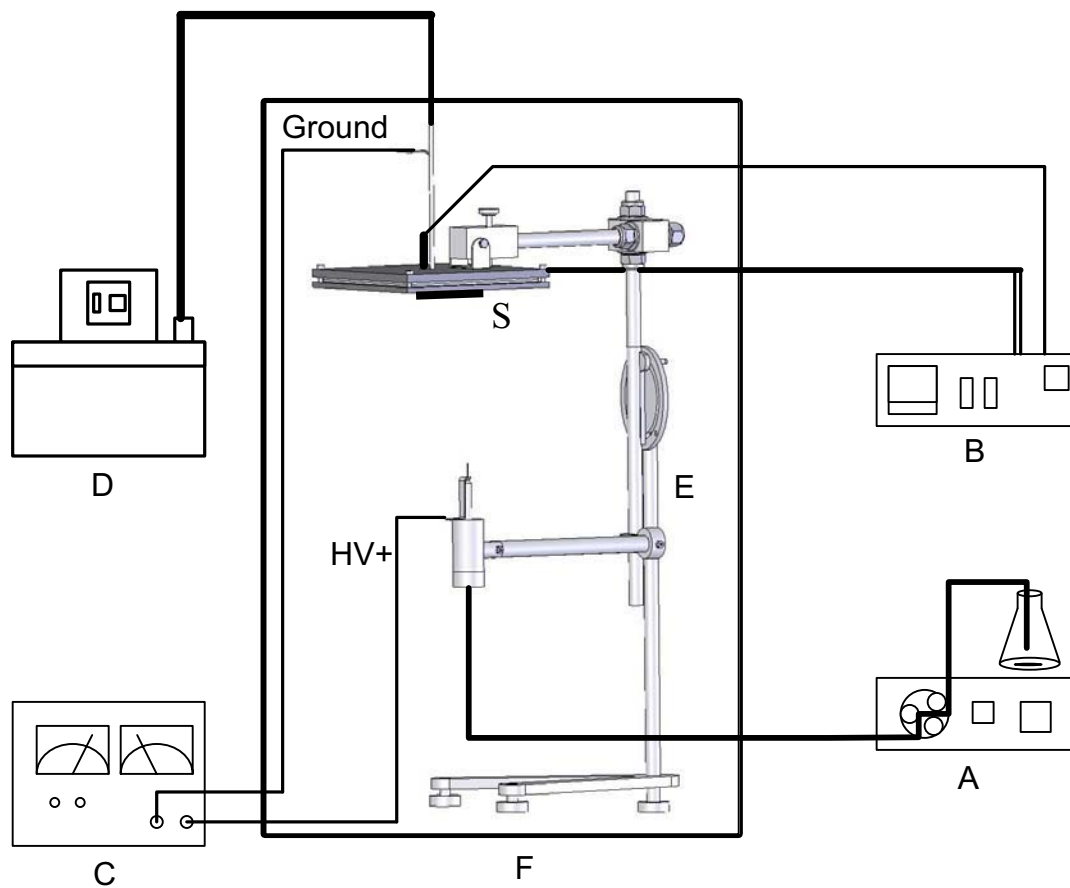
ส่วนที่สาม คือชุดแผ่นรองรับ จะเป็นชุดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองรับ และจับยึดให้แผ่นรองรับอยู่นิ่งได้ โดยส่วนที่สามนี้จะนำแผ่นให้ความร้อน 2 ประกอบเข้าแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบสองแผ่น 1 และ 3 โดยใช้นอตทำการประกบยึดให้แน่น โดยมีให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของนอตยื่นเลยออกมาจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 3 ที่บริเวณตรงกลางของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 1 จะทำการเจาะรู 2 รูโดยรู 1B ทำการเจาะเฉพาะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 1 เพื่อติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ และสามารถควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองรับได้ ส่วนรู 1A จะทำการเจาะทะลุแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบทั้ง 1 และ 3 เพื่อสามารถสวมท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 5 โดยปลายท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 5 เมื่อสวมเข้ากับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบทั้งสองแล้วจะต้องไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งของท่อยื่นเลยออกมาจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 3 ส่วนอีกด้านของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 5 จะเชื่อมเข้ากับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 5A ซึ่งจะเป็นส่วนที่ต่อเข้ากับไฟฟ้าแรงดันสูงขั้วลบ หรือสายดิน สำหรับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 1 จะเชื่อมเข้ากับตัวแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ทำเป็นรูปตัวซีเพื่อใช้ทำเป็นข้อต่อ 1C สำหรับต่อเข้ากับข้อต่อ 4 ซึ่งข้อต่อ 4 จะทำหน้าที่ต่อเข้ากับคานจับยึดชุดแผ่นรองรับ 7 ที่บริเวณข้อต่อ 4 จะมีตัวปรับมุมของชุดแผ่นรองรับ 6 ทำให้แผ่นรองรับสามารถทำมุมกับหัวพ่นฝอยได้ นอกจากนี้ที่บริเวณปลายคานจับยึดชุดแผ่นรองรับ 7 ยังสามารถหมุน และปรับมุมของแผ่นรองรับให้ทำมุมกับหัวพ่นฝอยได้เช่นกัน ที่บริเวณปลายท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 5 จะต่อเข้ากับชุดปั๊มสุญญากาศเพื่อทำการดูดยึดจับแผ่นรองรับให้ติดกับชุดแผ่นรองรับ ทำให้แผ่นรองรับมีอุณหภูมิได้ตามต้องการ และมีระยะใกล้กับหัวพ่นฝอยมากที่สุด นอกจากนี้ยังไม่มีชิ้นส่วนใด ๆ มาดบังแผ่นรองรับอีกด้วย ทำให้วิธีการนี้สามารถทำการเคลือบแผ่นรองรับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับวิธีการใช้งานสามารถอธิบายได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3.2 นำเครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิก ด้วยไฟฟ้าสถิต E บรรจุในกล่องอะคริลิก F หรือภาชนะที่ป้องกันการรบกวนจากลม ฝุ่นละออง และสิ่งแวดล้อมจากภายนอก จากนั้นนำปั๊มสุญญากาศ D มาต่อเข้ากับท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 5 นำแผ่นรองรับ S ที่ต้องการเคลือบมาประกบเข้ากับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 3 แผ่นรองรับจะถูกดูดโดยแรงของปั๊ม และติดเข้ากับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 3 ณ อุณหภูมิค่าหนึ่ง และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ โดยใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ B จากนั้นนำหลอดฉีดยาพร้อมเข็ม 15 มาใส่ในกระบอกพลาสติก 14 ให้ปลายเข็มฉีดยาผ่านรูที่เจาะในแผ่นโลหะพับ 14A โดยให้ฐานเข็มฉีดยาสัมผัสกับแผ่นโลหะพับ 14A จากนั้นนำหลอดพลาสติก 14B มาสวมเข้ากับกระบอกพลาสติก 14 จากนั้นนำท่อที่ยาวที่ต่อร่วมกับปั๊ม A มาต่อเข้ากับชุดหัวพ่นฝอย ทำการต่อชุดกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง C โดยให้ไฟฟ้าแรงดันสูงขั้วบวก HV+ ต่อเข้ากับแผ่นโลหะพับ 14A ส่วนไฟฟ้าแรงดันสูงขั้วลบ HV - หรือสายดินต่อเข้ากับท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 5 ที่ตำแหน่ง 5A จากนั้นทำการปรับทิศทางการพ่นโดยปรับที่เสาธง 9 สำหรับทิศทางการพ่นนั้นสามารถปรับให้มีทิศ

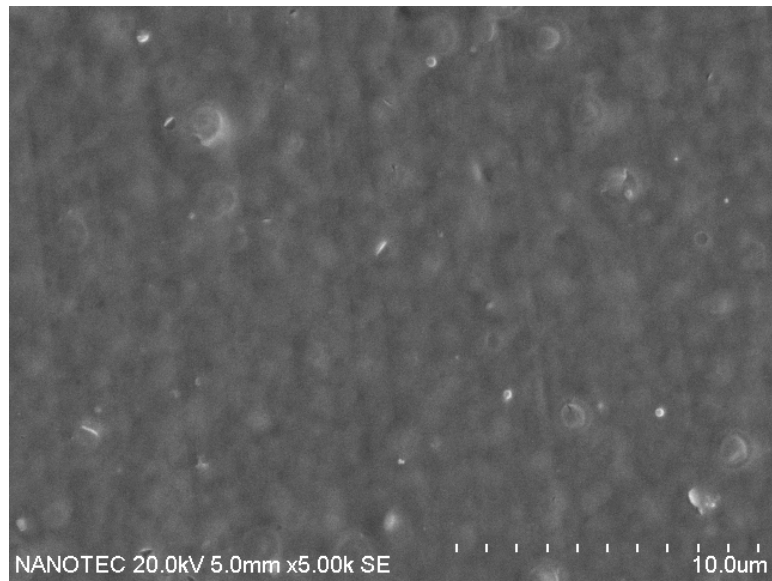
ทางการพันตามแนวแรงโน้มถ่วงของโลก หรือตรงข้ามแนวแรงโน้มถ่วงของโลก หรือทำมุมเอียงตามที่ต้องการได้ จากนั้นปรับระยะห่างการพันโดยเลื่อนข้อต่อ 11 และแกนจับยึดหัวพันฝอย 10 ทำให้สามารถได้ระยะห่างตามที่ต้องการ ลักษณะฐานวิทยาของฟิล์มเซรามิกที่เตรียมด้วยเครื่องพันฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิตนี้ สามารถเตรียมฟิล์มแบบหนาแน่น (a) และฟิล์มแบบพรุน (b) ได้ในเครื่องเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3.3.



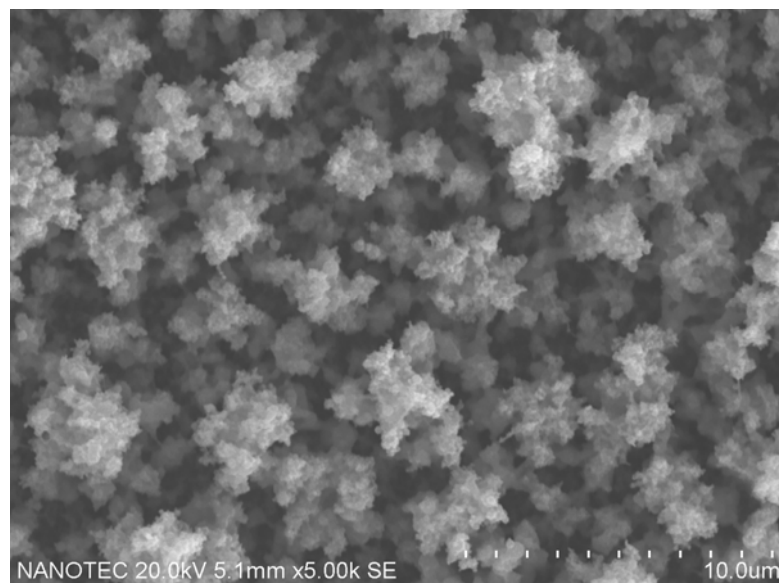
รูปที่ 2.3.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องฟ้นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 2.3.2 ลักษณะการทำงานของเครื่องฟ้นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต



(a)



(b)

รูปที่ 2.3.3 ภาพ SEM ของฟิล์มเซรามิกที่เตรียมได้จากเครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต (a) dense film และ (b) porous film

2.4 การประดิษฐ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพา

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพาที่จัดสร้างขึ้นนี้มีน้ำหนักเบา กะทัดรัด สามารถพกพาได้สะดวก และนำไปใช้ในภาคสนามได้ เนื่องจากใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากแบตเตอรี่อัลคาไลน์ที่มีน้ำหนักเบาเป็นแหล่งจ่ายไฟหลักให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพา โดยที่แบตเตอรี่สามารถใช้ได้ทั้งแบบเติมประจุใหม่ หรือแบบใช้แล้วหมดเลย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตแบบพกพาที่จัดสร้างขึ้นนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนแรกคือ ชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากแบตเตอรี่อัลคาไลน์ สำหรับการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับนั้นจะใช้วงจรดังแสดงในรูปที่ 2.4.1 วงจรดังกล่าวประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ (QS) หม้อแปลง (TF) และไดโอดเปล่งแสง (D) โดยมีหลักการทำงานคือทรานซิสเตอร์ (QS) จะทำหน้าที่เป็นตัวสวิตช์ซึ่งเปิด-ปิดการไหลกระแสทำให้เกิดการออสซิลเลชัน (Oscillation) ที่ความถี่ค่าหนึ่งเพื่อไปเหนี่ยวนำหม้อแปลง (TF) ทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงขึ้น ณ ตำแหน่ง X และ Y โดยที่มีสวิตช์ (SW1) สำหรับเปิด-ปิดการจ่ายไฟจากแบตเตอรี่อัลคาไลน์

ส่วนที่สองคือ ชุดวงจรยกแรงดันดังแสดงในรูปที่ 2.4.2 เป็นวงจรยกระดับแรงดันจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่ตำแหน่ง X และ Y ต่อเข้ากับไฟฟ้ากระแสสลับในรูปที่ 2.4.1 โดยที่ไฟฟ้ากระแสสลับตำแหน่ง X จะต่อเข้ากับสวิตช์ SW3 ส่วนตำแหน่ง Y ต่อเข้ากับตัวเก็บประจุ CG ซึ่งในตำแหน่ง Y เป็นตำแหน่งต่อลงดินของวงจรเมื่อเทียบกับไฟฟ้าแรงดันสูงด้านไฟบวก (+HV) และไฟฟ้าแรงดันสูงด้านไฟลบ (-HV) สำหรับวงจรนี้ตัวเก็บประจุ CN1 ถึง CNn และ CP1 ถึง CP(n-1) ทำหน้าที่ในการพักกระแส ตัวเก็บประจุ CN1* ถึง CNn* และ CP1* ถึง CPn* ทำหน้าที่ในการกรองกระแสทำให้ไฟฟ้าที่ได้เป็นกระแสตรง ส่วนไดโอด (DN1) (DN1*) ถึง (DNn) (DNn*) ทำหน้าที่นำกระแสในช่วงคลื่นลบ ส่วน (DP1) (DP1*) ถึง (DPn) (DPn*) ทำหน้าที่นำกระแสในช่วงคลื่นบวก สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันจะเพิ่มขึ้นเป็น 2n เท่าของแรงดันที่ตำแหน่ง X และ Y โดยการยกระดับแรงดันหนึ่งขั้นประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ 2 ตัว ไดโอด 2 ตัว ตัวอย่างเช่นขั้นที่ 1 ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ CS1 และ CN1* ส่วนไดโอด ประกอบด้วย DN1 และ DN1* ตัวเก็บประจุ CS1 มีหน้าที่เก็บประจุ และพักกระแสของแรงดันไฟลบ ส่วนตัวเก็บประจุ CSn มีหน้าที่เก็บประจุ และพักกระแสของแรงดันไฟบวก โดยที่ตัวเก็บประจุ CS2 ถึง CS(n-1) และ CS(n+1) ถึง CSm ทำหน้าที่อัดกระแสช่วยทำให้วงจรมีกระแสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ชดเชยแรงดันที่สูญเสียไปเนื่องจากตัวเก็บประจุ CN1 ถึง CNn, CP1 ถึง CP(n-1), CN1* ถึง CNn* และ CP1* ถึง CPn* และไดโอด DN1 ถึง DNn, DP1 ถึง

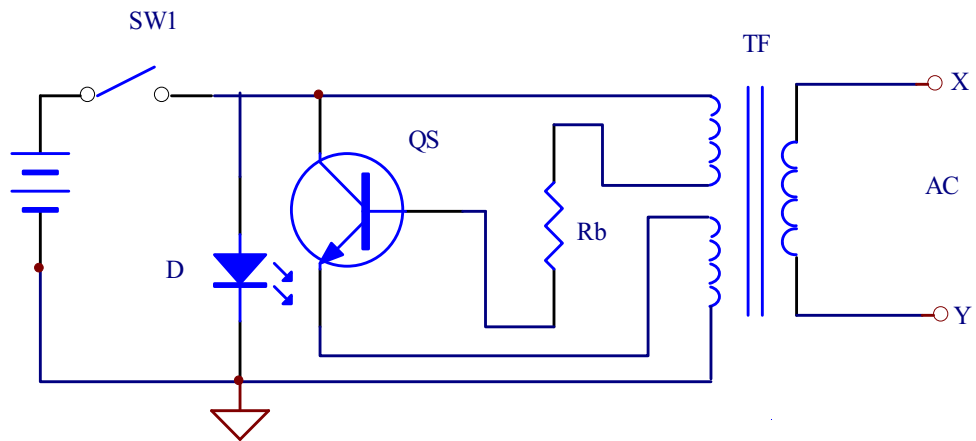
DPn, DN1* ถึง DNn* และ DP1* ถึง DPn* ทำให้มีระดับแรงดันไฟฟ้าสูง และกระแสจะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนชั้นของตัวเก็บประจุ CS2 ถึง CS(n-1) และ CS(n+1) ถึง CSm เพิ่มขึ้น วงจรยกแรงดันนี้สามารถเลือกแรงดันได้ 3 แบบ โดยแต่ละแบบสามารถเลือกระดับแรงดันไฟฟ้าในระดับต่าง ๆ ได้

แบบที่ 1 แบบแรงดันไฟบวก (+HV) เมื่อเทียบกับตำแหน่งสายดิน Y สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าได้โดยใช้สวิตช์ SW2 และ SW4 ในการเลือกระดับแรงดันที่ต้องการแรงดันไฟบวกสูงสุดให้เลื่อนสวิตช์ SW2 ไปตำแหน่ง G1 และเลื่อนสวิตช์ SW4 ไปตำแหน่ง Gm ส่วนสวิตช์ SW5 ไม่มีการเลือกตำแหน่งใด ๆ หรือสวิตช์อยู่ในสภาวะปิดนั่นเอง สำหรับการเลือกระดับแรงดันสามารถเลือกได้โดยใช้สวิตช์ SW2 และ SW4 โดยที่ตำแหน่งที่เลือก ถ้ามีลำดับที่แตกต่างกันมากจะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าลำดับที่แตกต่างกันน้อย อย่างเช่น เลือกสวิตช์ SW2 ที่ตำแหน่ง G3 และเลือกสวิตช์ SW4 ที่ตำแหน่ง Gm จะได้แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าเลือกสวิตช์ SW2 ที่ตำแหน่ง Gn และเลือกสวิตช์ SW4 ที่ตำแหน่ง G(m-1)

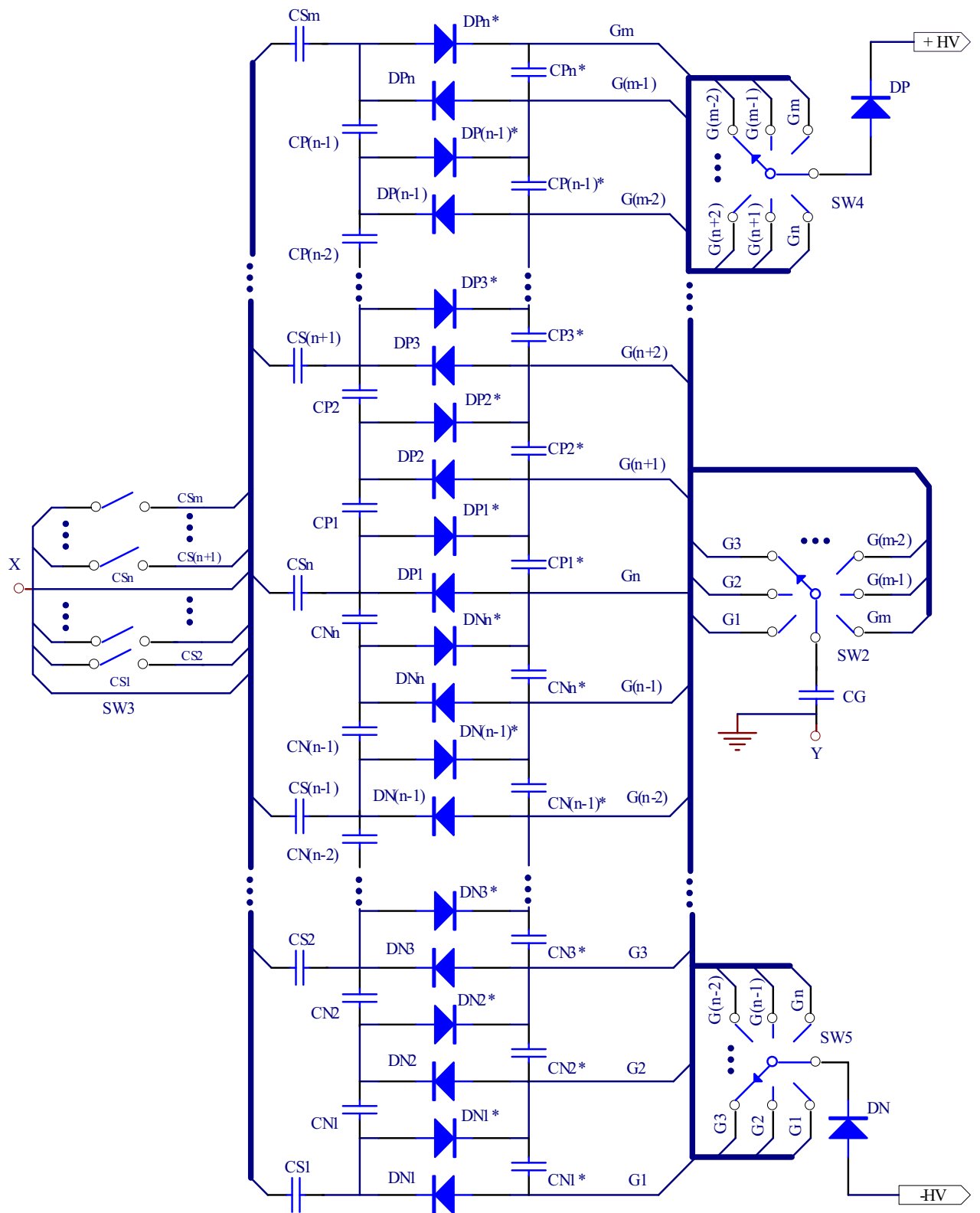
แบบที่ 2 แบบแรงดันไฟลบ (-HV) เมื่อเทียบกับตำแหน่งสายดิน (Y) การปรับแรงดันจะคล้ายกับแบบที่ 1 แต่ใช้สวิตช์ SW2 กับ SW5 ส่วนสวิตช์ SW4 อยู่ในตำแหน่งปิด สำหรับการเลือกตำแหน่งจะตรงข้ามกับแบบที่ 1 เช่น ถ้าต้องการแรงดันด้านไฟลบสูงสุดจะต้องปรับสวิตช์ SW2 ไปที่ตำแหน่ง Gm ส่วนสวิตช์ SW5 จะปรับไปที่ตำแหน่ง G1 การเลือกระดับแรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับตำแหน่งการเลือกของสวิตช์ SW2 และ SW5 เมื่อตำแหน่งที่เลือกมีลำดับแตกต่างกันมากจะทำให้ได้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าตำแหน่งที่เลือกที่มีลำดับแตกต่างกันน้อย

แบบที่ 3 แบบแรงดันไฟบวก (+HV) และไฟลบ (-HV) จะใช้สวิตช์ 3 ตัว คือ สวิตช์ SW2, SW4 และ SW5 ถ้าต้องการระดับแรงดันไฟด้านบวก และด้านลบให้มีระดับเท่ากันจะปรับตำแหน่ง SW2 ไปที่ตำแหน่ง Gn ส่วนสวิตช์ SW4 และ SW5 จะเลือกตำแหน่งที่มีลำดับห่างจากตำแหน่ง Gn เท่ากันทำให้ได้ไฟด้านบวก และลบเท่ากัน เช่น ปรับสวิตช์ SW2 ไปที่ตำแหน่ง Gn สวิตช์ SW4 ถูกปรับไปที่ตำแหน่ง G(n+2) และปรับสวิตช์ SW5 ไปที่ตำแหน่ง G(n-2) สำหรับการเพิ่มกระแสสามารถทำได้โดยเพิ่มจำนวนตัวเก็บประจุ CS2 ถึง CS(n-1) และ CS(n+1) ถึง CSm โดยใช้สวิตช์ (SW3) ซึ่งทำหน้าที่เลือกจำนวนตัวเก็บประจุ เมื่อตัวเก็บประจุ CS2 ถึง CS(n-1) และ CS(n+1) ถึง CSm เพิ่มขึ้นจะทำให้ไฟฟ้าสถิตที่ได้มีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพา นี้ มีความเสถียรและทนทานขณะเกิดการดีสชาร์จเบรกดาวน์ หรือเกิดการสปาร์กเบรกดาวน์ของข้ออิเล็กโทรมได้ดีกว่าวงจร Cockcroft – Walton และวงจรไบโพลาร์เนื่องจากขณะเกิดการดีสชาร์จเบรกดาวน์ จะทำให้เกิดกระแสเพิ่มขึ้นดังนั้นทั้งวงจร Cockcroft – Walton และวงจรไบโพลาร์ ตัวไดโอด และตัวเก็บประจุในชั้นที่หนึ่งจะรับกระแสไฟเต็มที่ จึงทำให้เกิดการเสียหายกับวงจรได้ แต่วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพานี้จะเกิดการดีสชาร์จ

เบรกควานี้จะมีการแบ่งกระแสออกเนื่องจากมีตัวเก็บประจุ CS1 ถึง CSm และมีไดโอดแต่ละชั้นแบ่งเบากระแสจึงทำให้วงจรดังกล่าวมีความเสถียร และทนทาน



รูปที่ 2.4.1 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 2.4.2 วงจรยกระดับแรงดันไฟฟ้าตามการประดิษฐ์นี้

3. Output ที่ได้จากโครงการ

3.1 การจดทรัพย์สินทางปัญญาประเภทสิทธิบัตร

1. สิทธิบัตรในประเทศไทยเรื่อง “เครื่องพ่นฝอยทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต” เลขที่คำขอ 0701002667 (พฤษภาคม พ.ศ. 2550)
2. ผลงานวิจัยอยู่ระหว่างการยื่นคำขอจดสิทธิบัตรในประเทศไทย เรื่อง “เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพา”

3.2 ผลงานตีพิมพ์

1. B. Ksapabutr, K. Choncharoen, S. Wongkasemjit, M. Panapoy, E. Traversa, Investigation of Nozzle Shape Effect on Samarium Doped Ceria Thin Film Prepared by Electrostatic Spray Deposition, *Thin Solid Films*, (accepted).
2. B. Ksapabutr, T. Chalermkiti, S. Wongkasemjit, M. Panapoy, Electrostatic spray deposition of samarium-doped ceria electrolyte coatings. (Submitted to *Surface and Coatings Technology*)
3. B. Ksapabutr, M. Panapoy, K. Tragolrat, S. Wongkasemjit, Fabrication of gadolinium doped ceria thin film by electrostatic spray deposition equipped with external permanent magnets. (Submitted to *Thin Solid Films*)

3.3 การประชุมวิชาการ หรือสัมมนาทางวิชาการ

1. B. Ksapabutr, K. Choncharoen, S. Wongkasemjit, M. Panapoy, Investigation of Nozzle Shape Effect on $\text{Sm}_{0.1}\text{Ce}_{0.9}\text{O}_{1.95}$ Thin Film Prepared by Electrostatic Spray Deposition, The 3rd International Conference on Advances of Thin Films and Coatings (Thin Films 2006)/ Singapore Grand Copthorne Waterfront Hotel, Singapore, 11-15 December 2006.
2. M. Panapoy, K. Tragolrat, B. Ksapabutr, Influence of Magnetic Field on $\text{Gd}_{0.1}\text{Ce}_{0.9}\text{O}_{1.95}$ Thin Film Fabricated by Electrostatic Spray Deposition Technique, The 3rd International Conference on Advances of Thin Films and Coatings (Thin Films 2006)/ Singapore Grand Copthorne Waterfront Hotel, Singapore, 11-15 December 2006
3. B. Ksapabutr, C. Waikru, S. Wongkasemjit, M. Panapoy, Effect of Deposition Conditions on Morphology of Gadolinium Doped Ceria Thin Film Coated by Electrostatic Spray Deposition Technique, International Meeting on Developments in

Materials, Processes and Applications of Nanotechnology (MPA-2007), the University of Ulster in Belfast, UK, 15 January 2007.

4. T. Chalermkiti, M. Panapoy, B. Ksapabutr, Electrostatic Spray Deposition of Samarium Doped Ceria Thin Film, International Meeting on Developments in Materials, Processes and Applications of Nanotechnology (MPA-2007), the University of Ulster in Belfast, UK, 15 January 2007.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.1

สิทธิบัตรในประเทศไทยเรื่อง “เครื่องพ่นฝอยทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต”
เลขที่คำขอ 0701002667 (พฤษภาคม พ.ศ. 2550)

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

เครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต

ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

การประดิษฐ์นี้เกี่ยวข้องกับเครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต โดยใช้เทคนิคการพ่นสารละลายออกจากหัวพ่นฝอยโดยใช้แรงดันทางไฟฟ้าสถิต โดยสามารถปรับระบบการพ่นให้มีทิศทางการพ่นทั้งในแนวด้านทานแรงโน้มถ่วงของโลก และตามแรงโน้มถ่วงของโลก หรือทิศทางอื่น ๆ ตามที่ต้องการได้โดยสามารถหมุนชุดหัวพ่นฝอย และชุดแผ่นรองรับได้ไม่เกิน 180 องศา สำหรับบริเวณชุดหัวพ่นฝอยนั้นจะต่อเข้ากับขั้วบวก และชุดแผ่นรองรับต่อเข้ากับขั้วลบ เครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิตนี้ได้ออกแบบให้สามารถจับยึดแผ่นตัวรองรับ โดยไม่มีการบังคับจากตัวจับยึดแผ่นรองรับ อีกทั้งยังสามารถให้ความร้อนกับแผ่นรองรับได้อย่างทั่วถึง นอกจากนี้ยังสามารถปรับระยะห่างระหว่างหัวพ่นฝอยกับแผ่นรองรับ และปรับมุมเอียงระหว่างหัวพ่นฝอย และแผ่นรองรับได้อย่างอิสระ อีกทั้งยังสามารถนำแผ่นรองรับประกอบเข้า และเอาออกจากชุดให้ความร้อนได้อย่างง่ายดาย

สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

วิศวกรรมในส่วนที่เกี่ยวกับวัสดุนาโน

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

การเตรียมวัสดุให้มีขนาดเล็กระดับนาโนมีความสำคัญต่อการพัฒนาเทคโนโลยีทั้งในปัจจุบันและในอนาคต เนื่องจากวัสดุนาโนระดับนาโนที่เตรียมได้เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวัสดุหรืออุปกรณ์อื่น ๆ จะทำให้วัสดุหรืออุปกรณ์นั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่มีขนาดและน้ำหนักลดลง โดยทั่วไปการเตรียมฟิล์มเซรามิกบางสามารถทำได้หลายวิธี เช่น Plasma spray, Thermal spray และ Sputtering ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถเตรียมฟิล์มเซรามิกได้ แต่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง สำหรับวิธี Sputtering ไม่สามารถเตรียมฟิล์มเซรามิกได้จากสารละลายตั้งต้น และต้องเตรียมในสภาวะสุญญากาศจึงทำให้มีราคาแพง สำหรับวิธี Plasma spray และ Thermal spray เป็นวิธีที่ให้ความร้อนที่บริเวณหัวพ่น เมื่อสารละลายตั้งต้นผ่านหัวพ่นจะเกิดการเผาไหม้ด้วยแก๊ส ทำให้ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ถูกปลดปล่อยออกเหลือเพียงผงเซรา-

มิก และผงเซรามิกจะไปเคลือบที่แผ่นรองรับ แต่ผงเซรามิกอาจเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่บริเวณแผ่นรองรับทำให้ได้ฟิล์มที่ได้มีพื้นผิวไม่เรียบและเกิดการแตกของแผ่นฟิล์มเซรามิกได้ สำหรับวิธีการเตรียมฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นวิธีที่ง่าย และสะดวกสามารถเตรียมวัสดุให้มีขนาดผงระดับนาโนได้ นอกจากนี้วิธีดังกล่าวยังสามารถเตรียมแผ่นฟิล์มเซรามิกจากสารละลายได้ แผ่นรองรับที่ต้องการเคลือบจะวางในทิศทางแนวเดียวกับหัวพ่นฝอยแต่มีทิศทางการวางสวนทางกัน โดยหัวพ่นฝอยและแผ่นรองรับจะต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง โดยที่หัวพ่นฝอยและแผ่นรองรับจะต่อกับขั้วไฟฟ้าชนิดตรงข้ามกันโดยทั่วไปนิยมให้หัวพ่นฝอยต่อกับขั้วบวก และแผ่นรองรับต่อเข้ากับขั้วลบ เมื่อสารละลายเคลื่อนที่มาถึงบริเวณหัวพ่นฝอยจะถูกพ่นโดยแรงดันไฟฟ้าทำให้สารละลายเซรามิกถูกพ่นเป็นละอองขนาดเล็ก ๆ โดยที่ละอองเล็ก ๆ ดังกล่าวจะเคลื่อนที่ไปยังแผ่นรองรับ ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดสารละลายตั้งต้นของเซรามิก เมื่อละอองสารละลายตั้งต้นของเซรามิกมาเคลือบที่แผ่นรองรับ ตัวทำละลาย หรือสารประกอบอื่น ๆ จะถูกปลดปล่อยออกไปเหลือเพียงผงเซรามิกเคลือบเป็นฟิล์มบนแผ่นรองรับ ทำให้ได้ฟิล์มที่บาง นอกจากนี้การเตรียมฟิล์มด้วยไฟฟ้าสถิตยังสามารถเตรียมฟิล์มให้มีความพรุนสูง หรืออาจเตรียมฟิล์มที่มีความหนาแน่นสูงได้โดยขึ้นอยู่กับสถานะในการเตรียมฟิล์ม อาทิเช่น อุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างหัวพ่นฝอยกับแผ่นรองรับ อัตราการไหลของสารละลายตั้งต้น และระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ นอกจากสถานะในการเตรียมฟิล์มบางแล้ว ยังพบว่าทิศทางการพ่นของสารละลายตั้งต้น และการจับยึดแผ่นรองรับ ยังมีผลต่อสัญญาณวิทยาของฟิล์ม อีกด้วย เช่น การพ่นสารละลายในแนวด้านแรงโน้มถ่วงของโลกจะให้หัวพ่นฝอยชี้ขึ้นในทิศด้านแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนแผ่นรองรับจะอยู่เหนือหัวพ่นฝอยที่ระยะห่างค่าหนึ่งโดยมีทิศทางของพื้นที่ของแผ่นรองรับตามแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้วิธีการนี้จับยึดแผ่นรองรับได้ยาก เนื่องจากต้องคำนึงถึงการจับยึดแผ่นรองรับจะต้องไม่บดบังแผ่นรองรับ เพราะจะทำให้มีการเคลือบฟิล์มบนแผ่นรองรับได้ไม่ทั่วแผ่น อีกทั้งต้องให้ระยะห่างของหัวพ่นฝอยกับแผ่นรองรับน้อยกว่าระยะห่างของหัวพ่นฝอยกับวัสดุชิ้นอื่น ๆ เนื่องจากระบบไฟฟ้าสถิตจะทำให้สารละลายถูกพ่นเคลือบไปบนวัสดุที่อยู่ใกล้ที่สุด ทำให้สมบัติของฟิล์มที่ได้ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ โดยส่วนใหญ่แล้วการพ่นในลักษณะนี้จะกำหนดทิศทางการพ่นที่แน่นอนไม่สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางการพ่นให้อยู่ในสถานะ ตามแรงโน้มถ่วง หรือด้านแรงโน้มถ่วงได้ จึงทำให้ไม่สามารถหาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มที่ต้องการได้

การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

เครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต ดังแสดงในรูปที่ 1 มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่หนึ่ง คือ โครงสร้างหลักของเครื่อง ซึ่งประกอบด้วยฐานเครื่อง 13 ที่บริเวณฐานเครื่องจะประกอบไปด้วยตัวปรับระนาบของเครื่อง 13A ,13B และ13C สำหรับเสาหลัก 12 ซึ่งเป็นเสาที่ปลายด้านหนึ่งทำเกลียวเพื่อยึดอยู่กับฐานเครื่อง 13 ส่วนอีกด้านต่อกับแผ่นวงกลมที่ถูกเจาะรูเป็นรูปวงกลมไว้สำหรับยึดติดกับกับเสารอง 9 โดยที่เสารอง 9 จะเป็นเสาที่สามารถหมุนรอบตัวเองได้ 180 องศา การจับยึดระหว่างเสาหลักและเสารองจะยึดติดกันที่ตำแหน่ง 9A และ 12A โดยมีเดือย 12B สวมเข้ากับลูกปืนที่ฝังอยู่ในเสารอง ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ครึ่งวงกลม (180 องศา) ส่วนเดือย 9B จะทำหน้าที่ล็อกตำแหน่งการหมุน หรือองศาการหมุนของเสารอง และเป็นตัวยึดให้เสารอง 9 ยึดติดกับเสาหลัก 12 สำหรับบริเวณปลายเสารอง 9 ทั้งสองด้านจะต่อกับคานจับยึดชุดแผ่นรองรับ 7 และคานจับยึดชุดหัวฟันฝอย 10 โดยมีข้อต่อ 8 เป็นตัวจับยึดระหว่างเสารอง 9 กับคานจับยึดชุดแผ่นรองรับ 7 และข้อต่อ 11 เป็นตัวจับยึดเสารอง 9 กับคานจับยึดชุดหัวฟันฝอย 10

ส่วนที่สอง คือชุดหัวฟันฝอย สามารถนำหลอดชนิดยา พร้อมเข็ม 15 ที่มีขายตามท้องตลาดมาใช้เป็นหัวฟันฝอยได้เลย สำหรับการประกอบชุดหัวฟันฝอยนี้จะนำหลอดชนิดยาพร้อมเข็ม 15 มาใส่ในกระบอกพลาสติก 14 ซึ่งที่ปลายกระบอกพลาสติกด้านหนึ่งจะทำเกลียวนอกไว้สำหรับสวมเข้ากับปลอกพลาสติก 14B ที่ด้านในทำเกลียวในไว้ ขณะที่ใส่หลอดชนิดยาพร้อมเข็ม 15 ต้องให้ปลายเข็มชนิดยาที่เป็นโลหะ ลอดรูแผ่นโลหะพับ14A และให้ฐานเข็มชนิดยาสัมผัสกับแผ่นโลหะพับ 14A ที่บริเวณด้านบนของแผ่นโลหะพับ 14A ถูกเจาะเป็นรูสำหรับให้ปลายเข็มชนิดยาสอดผ่านไปได้ ส่วนบริเวณด้านล่างของแผ่นโลหะพับ 14A จะต่อเข้ากับกระบอกพลาสติก 14 และ ณ บริเวณนี้เองจะเป็นบริเวณที่ต่อเข้ากับขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงชนิดกระแสตรง จากนั้นนำปลอกพลาสติก 14B มายึดให้หลอดชนิดยาพร้อมเข็ม 15 แน่นติดกับกระบอกพลาสติก เมื่อประกอบเรียบร้อยแล้วส่วนนี้จะเรียกว่า ชุดหัวฟันฝอย สำหรับบริเวณฐานด้านล่างของชุดหัวฟันฝอยทำการต่อเข้ากับท่ออย่างที่ต่อร่วมกับปั๊มสำหรับป้อนสารละลายที่ต้องการพ่น ชุดหัวฟันฝอยนี้เมื่อต่อเข้ากับคานจับยึดชุดหัวฟันฝอย 10 จะสามารถปรับมุม หรือทิศทางในการพ่นได้

ส่วนที่สาม คือชุดแผ่นรองรับ จะเป็นชุดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองรับ และจับยึดให้แผ่นรองรับอยู่นิ่งได้ โดยส่วนที่สามนี้จะนำแผ่นให้ความร้อน 2 ประกอบเข้าแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบสองแผ่น 1 และ 3 โดยใช้ขนาดทำการประกบยึดให้แน่น โดยมีให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของขนาดยื่นเลยออกมาจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 3 ที่บริเวณตรงกลางของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 1 จะทำการเจาะรู 2 รูโดยรู 1B ทำการเจาะเฉพาะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 1 เพื่อติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ และสามารถควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองรับได้

ส่วนรูป 1A จะทำการเจาะทะลุแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบทั้ง 1 และ 3 เพื่อสามารถสวมท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 5 โดยปลายท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 5 เมื่อสวมเข้ากับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบทั้งสองแล้วจะต้องไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งของท่อยื่นเลยออกมาจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 3 ส่วนอีกด้านของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 5 จะเชื่อมเข้ากับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 5A ซึ่งจะเป็นส่วนที่ต่อเข้ากับไฟฟ้าแรงดันสูงขั้วลบ หรือสายดิน สำหรับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 1 จะเชื่อมเข้ากับตัวแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ทำเป็นรูปตัวซีเพื่อใช้ทำเป็นข้อต่อ 1C สำหรับต่อเข้ากับข้อต่อ 4 ซึ่งข้อต่อ 4 จะทำหน้าที่ต่อเข้ากับคานจับยึดชุดแผ่นรองรับ 7 ที่บริเวณข้อต่อ 4 จะมีตัวปรับมุมของชุดแผ่นรองรับ 6 ทำให้แผ่นรองรับสามารถทำมุมกับหัวพ่นฝอยได้ นอกจากนี้ที่บริเวณปลายคานจับยึดชุดแผ่นรองรับ 7 ยังสามารถหมุน และปรับมุมของแผ่นรองรับให้ทำมุมกับหัวพ่นฝอยได้เช่นกัน ที่บริเวณปลายท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 5 จะต่อเข้ากับชุดปั๊มสุญญากาศเพื่อทำการดูดยึดจับแผ่นรองรับให้ติดกับชุดแผ่นรองรับ ทำให้แผ่นรองรับมีอุณหภูมิได้ตามต้องการ และมีระยะใกล้กับหัวพ่นฝอยมากที่สุด นอกจากนี้ยังไม่มีชิ้นส่วนใด ๆ มาบังคับแผ่นรองรับอีกด้วย ทำให้วิธีการนี้สามารถทำการเคลือบแผ่นรองรับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับวิธีการใช้งานสามารถอธิบายได้ดังแสดงในรูปที่ 2 นำเครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิก ด้วยไฟฟ้าสถิต E บรรจุในกล่องอะคริลิก F หรือภาชนะที่ป้องกันการรบกวนจากลม ฝุ่นละออง และสิ่งแวดล้อมจากภายนอก จากนั้นนำปั๊มสุญญากาศ D มาต่อเข้ากับท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 5 นำแผ่นรองรับ S ที่ต้องการเคลือบมาประกบเข้ากับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 3 แผ่นรองรับจะถูกดูดโดยแรงของปั๊ม และติดเข้ากับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบ 3 ณ อุณหภูมิค่าหนึ่ง และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ โดยใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ B จากนั้นนำหลอดฉีดยาพร้อมเข็ม 15 มาใส่ในกระบอกพลาสติก 14 ให้ปลายเข็มฉีดยาผ่านรูที่เจาะในแผ่นโลหะพับ 14A โดยให้ฐานเข็มฉีดยาสัมผัสกับแผ่นโลหะพับ 14A จากนั้นนำปลอกพลาสติก 14B มาสวมเข้ากับกระบอกพลาสติก 14 จากนั้นนำท่อที่ยึดร่วมกับปั๊ม A มาต่อเข้ากับชุดหัวพ่นฝอย ทำการต่อชุดกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง C โดยให้ไฟฟ้าแรงดันสูงขั้วบวก HV+ ต่อเข้ากับแผ่นโลหะพับ 14A ส่วนไฟฟ้าแรงดันสูงขั้วลบ HV - หรือสายดินต่อเข้ากับท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 5 ที่ตำแหน่ง 5A จากนั้นทำการปรับทิศทางการพ่นโดยปรับที่เสารอง 9 สำหรับทิศทางในการพ่นนั้นสามารถปรับให้มีทิศทางการพ่นตามแนวแรงโน้มถ่วงของโลก หรือตรงข้ามแนวแรงโน้มถ่วงของโลก หรือทำมุมเอียงตามที่ต้องการได้ จากนั้นปรับระยะห่างการพ่นโดยเลื่อนข้อต่อ 11 และคานจับยึดหัวพ่นฝอย 10 ทำให้สามารถได้ระยะห่างตามที่ต้องการ ลักษณะพื้นฐานวิทยาของฟิล์มเซรามิกที่เตรียมด้วยเครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิตนี้ สามารถเตรียมฟิล์มแบบหนาแน่น (a) และฟิล์มแบบพรุน (b) ได้ในเครื่องเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.

คำอธิบายรูปเขียนโดยย่อ (ถ้ามีรูปเขียน)

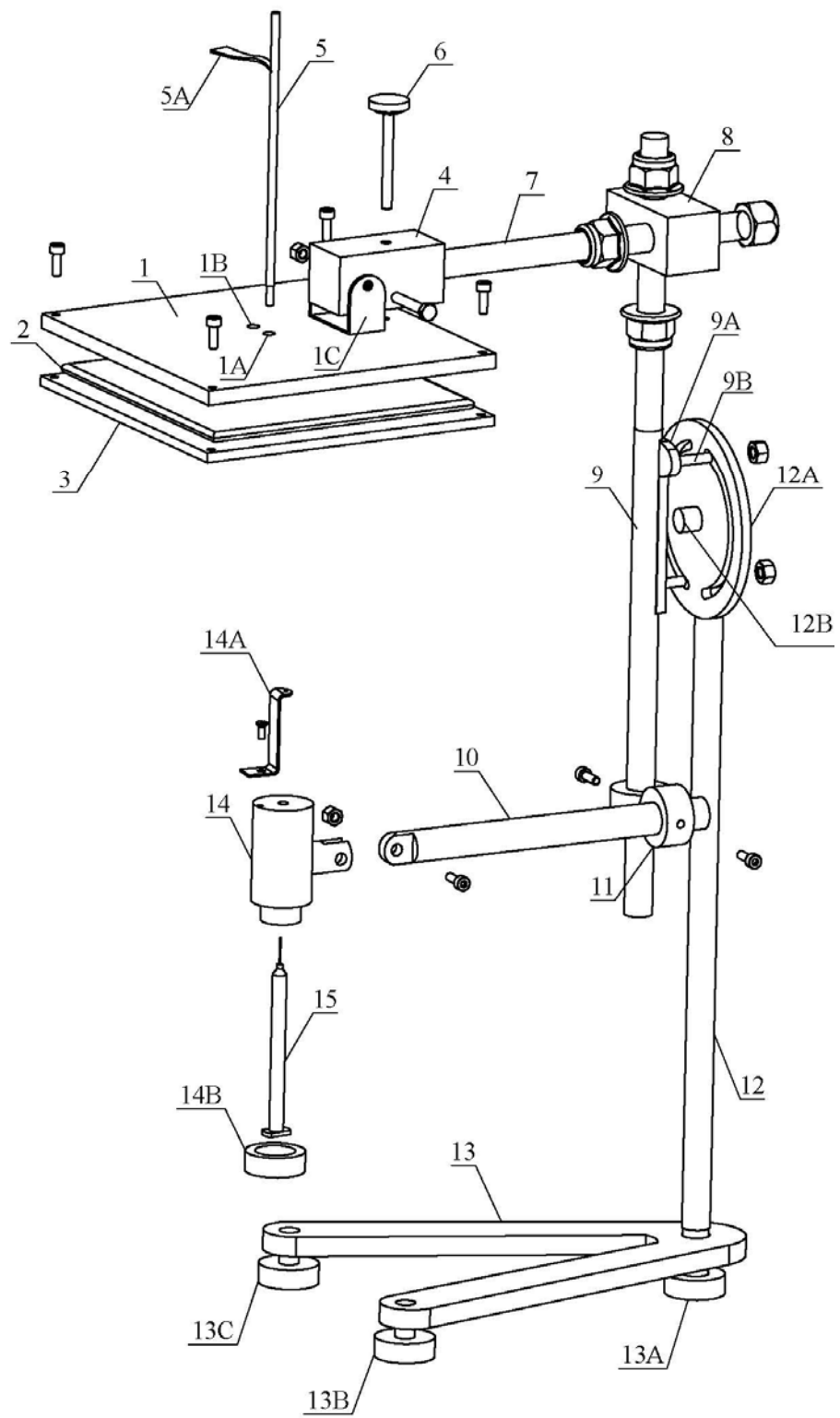
รูปที่ 1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต

รูปที่ 2 ลักษณะการทำงานของเครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต

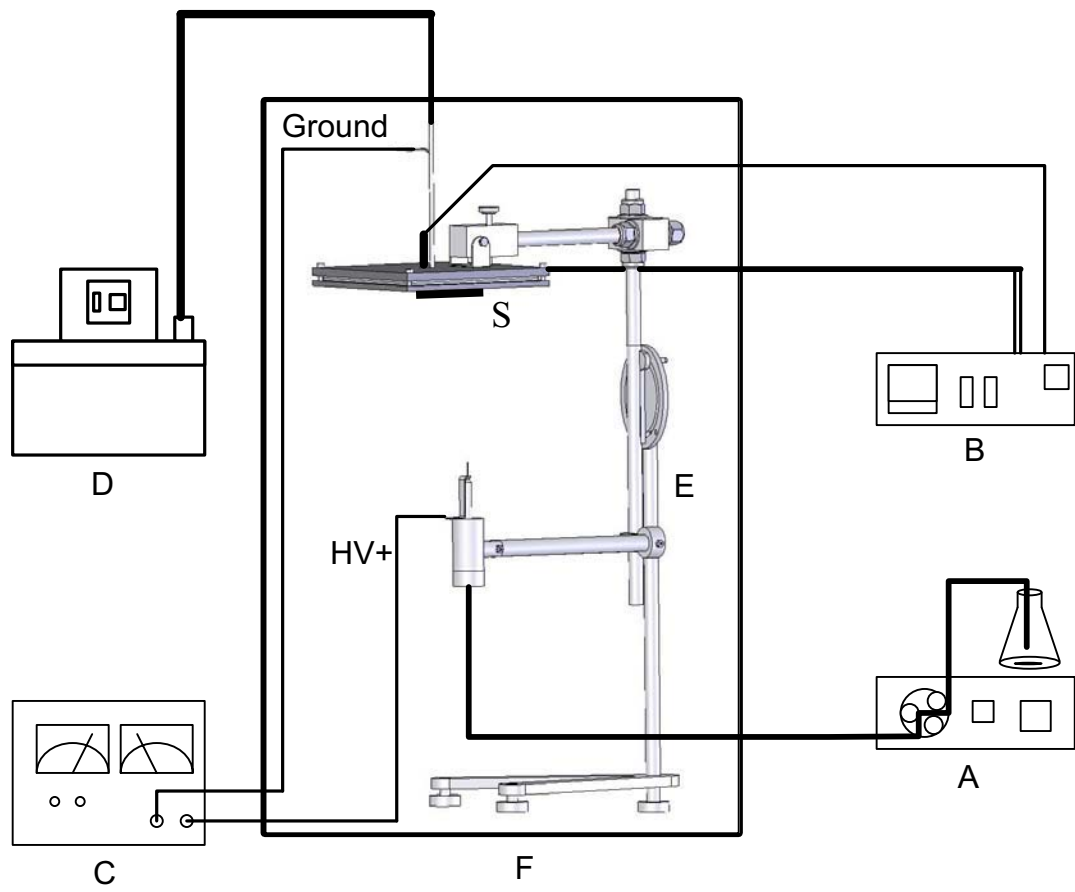
รูปที่ 3 ฟิล์มเซรามิกที่เตรียมได้จากเครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต

วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด

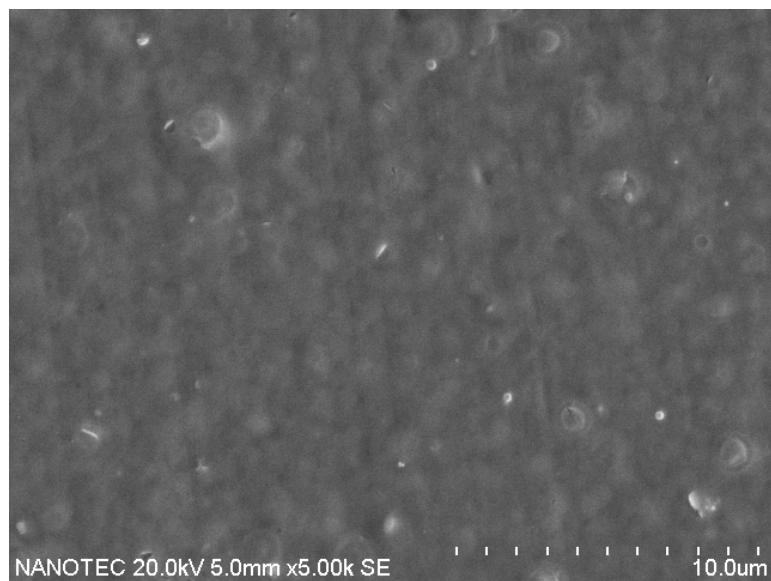
ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์



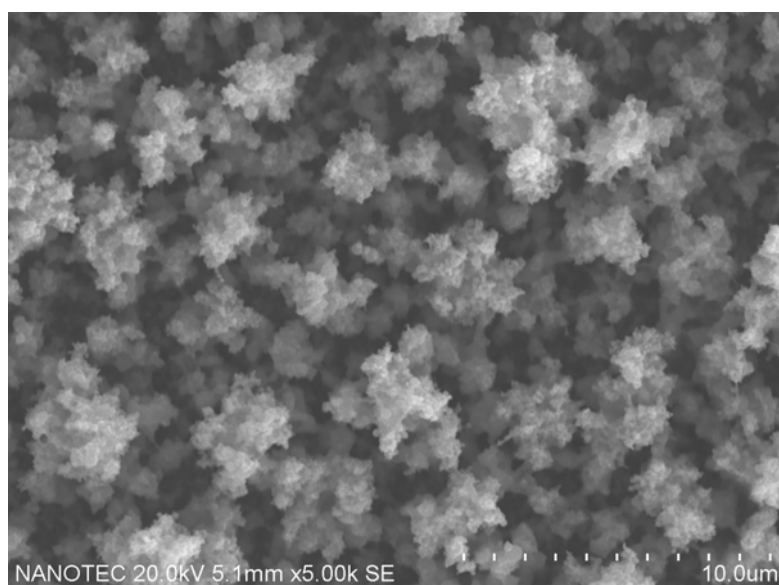
รูปที่ 1



รูปที่ 2



(a)



(b)

รูปที่ 3

ข้อถ้อยสัญญา

1. เครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- โครงสร้างหลักของเครื่อง ซึ่งประกอบด้วยฐานเครื่อง (13) เสาหลัก (12) เสารอง (9) คานจับยึดชุดหัวพ่นฝอย (10) และ คานจับยึดชุดแผ่นรองรับ (7) โดยที่เสารอง (9) สามารถหมุนทำมุมรอบเสาหลัก (13) ได้ 180 องศา ส่วนตำแหน่งบริเวณปลายด้านข้างทั้งสองของเสารอง (9) จะต่อกับคานจับยึดชุดหัวพ่นฝอย (10) และ คานจับยึดชุดแผ่นรองรับ (7) โดยใช้ข้อต่อ (11, 8)

- ชุดแผ่นรองรับ มีแผ่นให้ความร้อน (2) วางอยู่ระหว่างแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเรียบทั้งสองแผ่น (1, 3) โดยมีท่อเหล็กกล้าไร้สนิม (5) ที่ปลายเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (5A) ใส่เข้าตรงกลางแผ่นทั้งสาม และมีข้อต่อรูปตัวซี (1C) ต่อเข้ากับข้อต่อ (4) โดยที่ปลายข้อต่อนี้จะต่อกับคานจับยึดชุดแผ่นรองรับ (7) และตรงกลางข้อต่อ (4) จะมีตัวปรับมุมของชุดแผ่นรองรับ (6) สอดอยู่

- ชุดหัวพ่นฝอย ประกอบด้วยกระบอกพลาสติก (14) ที่สามารถสอดหลอดฉีดยาพร้อมเข็ม (15) โดยปลายด้านหนึ่งของกระบอกพลาสติก (14) ต่อกับแผ่นโลหะพับ (14A) และอีกด้านต่อกับปลอกพลาสติก (14B) โดยชุดหัวพ่นฝอยจะต่อเข้ากับ คานจับยึดชุดหัวพ่นฝอย (10)

2. เครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต ตามข้อถ้อยสัญญา 1 ปลายท่อเหล็กกล้าไร้สนิม (5) จะต่อเข้ากับปั๊มสุญญากาศเพื่อดูดยึดแผ่นรองรับ และแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (5A) ต่อเข้ากับไฟฟ้าแรงดันสูงขั้วลบ หรือสายดิน

3. เครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิต ตามข้อถ้อยสัญญา 1 และ 2 ชุดหัวพ่นฝอยที่ตำแหน่งแผ่นโลหะพับ (14A) จะต่อเข้ากับไฟฟ้าแรงดันสูงขั้วบวก และที่ด้านล่างของหลอดฉีดยาต่อเข้ากับท่ออย่างสำหรับป้อนสารละลาย

บทสรุปการประดิษฐ์

เครื่องพ่นฝอยสำหรับทำฟิล์มบางเซรามิกด้วยไฟฟ้าสถิตนี้สามารถจับยึดแผ่นรองรับโดยไม่มี การคบบังแผ่นรองรับเลย ซึ่งอาศัยปั๊มสุญญากาศในการจับยึดแผ่นรองรับ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองรับได้ในขณะขึ้นรูปฟิล์มเซรามิก และสามารถควบคุมทิศทางการพ่นได้โดยการหมุนเสารองรับ การปรับมุมระหว่างแผ่นรองรับกับหัวพ่นฝอย ซึ่งทำได้โดยปรับที่ตัวปรับมุมของชุดแผ่นรองรับ และที่บริเวณปลายคานจับยึดชุดแผ่นรองรับ หรือปรับที่ชุดหัวพ่นฝอย สำหรับการปรับระยะห่างระหว่างหัวพ่นฝอยกับแผ่นรองรับสามารถปรับเลื่อนตำแหน่งที่ข้อต่อซึ่งต่อระหว่างเสารองรับ กับคานจับยึดชุดหัวพ่นฝอยได้เลย

ภาคผนวก ก.2

ผลงานวิจัยอยู่ระหว่างการยื่นคำขอจดสิทธิบัตรในประเทศไทย
เรื่อง “เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสวิตขนาดพกพา”

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพา

1. สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

วิศวกรรมในส่วนที่เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต

2. ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการผ่อนคลาย เทคโนโลยีการเคลือบฟิล์มบาง เทคโนโลยีการขึ้นรูปเส้นใยระดับนาโน เทคโนโลยีทางด้านความงาม สุขภาพ และทางการแพทย์ เช่น วัสดุตกแต่งแผล วัสดุควบคุมการปลดปล่อยยา และเทคโนโลยีเนื้อเยื่อเทียม วัสดุทางการแพทย์โดยการควบคุมการปลดปล่อยยามาแมลงให้แก่พืช ส่วนใหญ่นิยมการขึ้นรูปโดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิต ซึ่งไฟฟ้าสถิตนี้จะทำหน้าที่ขับเคลื่อนให้สารที่อยู่ในบริเวณแรงดันไฟฟ้าสูงถูกพ่นฝอยออกมา ไปยังบริเวณที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าทำให้เกิดฟิล์มบาง หรือผงที่มีอนุภาคนาโนขนาดเล็ก หรืออาจเกิดเป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร

โดยทั่วไป ไฟฟ้าสถิตที่ใช้ในปัจจุบันเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีระดับแรงดันอยู่ระหว่าง 5 - 100 กิโลโวลต์ แต่ในระบบการผลิตเส้นใย เนื้อเยื่อเทียม และอุตสาหกรรมการเคลือบฟิล์มบางจะใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วง 5 - 30 กิโลโวลต์ สำหรับอุตสาหกรรมการพ่นเคลือบสีจะใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่า 30 กิโลโวลต์ ขึ้นไป แต่ส่วนใหญ่แล้วแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงเหล่านี้จะใช้แหล่งกำเนิดจากไฟบ้านที่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 110, 220 หรือ 380 โวลต์ เป็นต้น จากนั้นทำการยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีระดับตามที่ต้องการ โดยทั่วไปการยกระดับแรงดันไฟฟ้านิยมใช้วิธีของ Cockcroft – Walton ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นวงจรยกระดับแรงดันจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และเหมาะสำหรับยกระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีกระแสไฟต่ำ วงจรการยกระดับแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ในหนึ่งขั้นนั้น ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ 2 ตัว และไดโอด 2 ตัว ตัวอย่างเช่น ขั้นที่ 1 ประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ C1 และ C1* ไดโอด D1 และ D1* โดยที่ตัวเก็บประจุ C1 เป็นตัวพักกระแส ส่วนตัวเก็บประจุ C1* เป็นตัวกรองกระแสให้เป็นกระแสตรง และระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนขั้นที่ต้องการ โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสามารถหาได้จาก $2nV_0$ เมื่อ n คือ จำนวนขั้น และ V_0 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนเข้าสู่วงจรก่อนยกระดับแรงดัน (รูปที่ 1 ณ ตำแหน่ง X และ Y) ข้อเสียของวงจรแบบ Cockcroft – Walton คือเมื่อจำนวนขั้นของการยกระดับแรงดันเพิ่มสูงขึ้นจะมีการสูญเสียแรงดันไป

กับไดโอดและตัวเก็บประจุ ทำให้ระดับแรงดันที่ได้ลดลงและไม่เป็นไปตามสูตรคำนวณในทฤษฎี และเมื่อต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงมาก ๆ จะต้องใช้จำนวนชิ้นเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการประยุกต์ วงจรจากวงจร Cockcroft – Walton เป็นวงจรไบโพลาร์ดังแสดงในรูปที่ 2 เพื่อให้มีระดับแรงดัน สูงแต่มีจำนวนชิ้นเท่ากัน วงจรแบบไบโพลาร์นอกจากจะให้ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สูง กว่าแบบวงจร Cockcroft – Walton แล้วยังสามารถสร้างแหล่งกำเนิดแบบโพลาร์คือ แรงดันไฟฟ้า บวก ลบ และสายดิน ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายกว่าแบบ Cockcroft – Walton หลักการยกแรงดันแบบไบโพลาร์นี้คล้ายคลึงกับแบบ Cockcroft – Walton โดยการยกแรงดันหนึ่ง ชั้นของไฟบวก หรือไฟลบจะใช้ตัวเก็บประจุ 2 ตัว และไดโอด 2 ตัว ตัวอย่างเช่น ในการยก แรงดันด้านไฟบวกหนึ่งชั้นจะใช้ไดโอด DP1 และ DP1* ตัวเก็บประจุ CP1 และ CP1* สำหรับ แรงดันไฟลบจะใช้ไดโอด DN1 และ DN1* ตัวเก็บประจุ CN1 และ CN1* แต่ถ้าต้องการยกระดับ แรงดันทั้งบวกและลบอย่างละชั้นจะใช้ไดโอด 4 ตัวและตัวเก็บประจุ 4 ตัว คือ (DP1) (DP1*) (DN1) (DN1*) (CP1) (CP1*) (CN1) และ (CN1*) ซึ่งจะเท่ากับใช้ Cockcroft – Walton จำนวน 2 ชั้น แต่วงจรไบโพลาร์จะให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สูงกว่าวงจร Cockcroft – Walton เล็กน้อย อย่างไรก็ตามทั้งวงจร Cockcroft – Walton และไบโพลาร์ มีข้อเสียคือ ถ้าต้องการ แรงดันไฟฟ้าในระดับสูง ๆ จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนชิ้นมาก ๆ และเมื่อเพิ่มจำนวนชิ้นมากขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจะคงที่ในที่สุด ทำให้ไม่ได้แรงดันไฟฟ้า ตามที่ต้องการ และสิ่งสำคัญคือ เมื่อเพิ่มจำนวนชิ้นให้มากขึ้น จะทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากต้องเพิ่มจำนวนตัวเก็บประจุ และไดโอดมากขึ้น เมื่อนำวงจรแบบ Cockcroft – Walton และวงจรไบโพลาร์มาประยุกต์ใช้สำหรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพาจะทำให้มีขนาดใหญ่ ไม่สะดวกสำหรับการพกพา ดังนั้น ข้อจำกัดสำหรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพา นอกจาก ขนาดวงจรในการยกระดับต้องมีขนาดเล็กแล้ว แหล่งจ่ายไฟที่ใช้ต้องมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาอีก ด้วย อย่างเช่น แบตเตอรี่อัลคาไลน์ ซึ่งมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ ดังนั้นวงจรยกระดับจะต้องมี ประสิทธิภาพสูง และที่ระดับแรงดันสูงประมาณ 20 - 30 กิโลโวลต์ วงจรยกระดับแรงดันจะต้อง ให้แรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนชิ้นการยกระดับแรงดันมาก ๆ

3. ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

การประดิษฐ์นี้เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตแบบพกพาที่มีขนาดเล็ก กะทัดรัด น้ำหนักเบา สามารถพกพาและใช้งานได้สะดวก โดยใช้แหล่งจ่ายไฟจาก แบตเตอรี่อัลคาไลน์ ขนาดเล็ก ซึ่งมีน้ำหนักเบา ราคาถูก และสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด ทำให้สะดวกสำหรับการนำไปใช้งานในภาคสนาม หรือการพกพา สำหรับงานทางด้านผลิตเส้นใย

ระดับนาโน เนื้อเยื่อเทียม ระบบส่งถ่ายยา วัสดุปิดบาดแผล และอุตสาหกรรมการเคลือบฟิล์มบาง อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับการฟั่นเคลือบสี โดยไม่จำเป็นต้องใช้แรงดันลม หรือแก๊ส เป็นต้น

ไฟฟ้าแรงดันสูงที่ได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด -20 และ 20 กิโลโวลต์ โดยมีกระแสไฟฟ้าต่ำประมาณ 10 - 20 ไมโครแอมแปร์ ทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน วงจรที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้สามารถปรับเลือกกระด้นแรงดันไฟฟ้าในช่วงบวกตั้งแต่ 0 ถึง 20 กิโลโวลต์ ช่วงลบตั้งแต่ 0 ถึง -20 กิโลโวลต์ และในช่วงบวกและลบตั้งแต่ -10 และ 10 กิโลโวลต์ โดยที่วงจรดังกล่าวมีความเสถียร และสามารถทนทานขณะเกิดการดิสชาร์จเบรคดาวน์ หรือเกิดการสปาร์กเบรคดาวน์ของอิเล็กโทรด (ขั้วบวก ขั้วลบ หรือ สายดิน)

4. การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพาที่จัดสร้างขึ้นนี้มีน้ำหนักเบา กะทัดรัด สามารถพกพาได้สะดวก และนำไปใช้ในภาคสนามได้ เนื่องจากใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากแบตเตอรี่อัลคาไลน์ที่มีน้ำหนักเบาเป็นแหล่งจ่ายไฟหลักให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพา โดยที่แบตเตอรี่สามารถใช้ได้ทั้งแบบเติมประจุใหม่ หรือแบบใช้แล้วหมดเลย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตแบบพกพาที่จัดสร้างขึ้นนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนแรกคือ ชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากแบตเตอรี่อัลคาไลน์ สำหรับการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับนั้นจะใช้วงจรดังแสดงในรูปที่ 3 วงจรดังกล่าวประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ (QS) หม้อแปลง (TF) และไดโอดเปล่งแสง (D) โดยมีหลักการทำงานคือทรานซิสเตอร์ (QS) จะทำหน้าที่เป็นตัวสวิตช์ซึ่งเปิด-ปิดการไหลกระแสทำให้เกิดการออสซิลเลชัน (Oscillation) ที่ความถี่ค่าหนึ่งเพื่อไปเหนี่ยวนำหม้อแปลง (TF) ทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงขึ้น ณ ตำแหน่ง X และ Y โดยที่มีสวิตช์ (SW1) สำหรับเปิด-ปิดการจ่ายไฟจากแบตเตอรี่อัลคาไลน์

ส่วนที่สองคือ ชุดวงจรยกแรงดันดังแสดงในรูปที่ 4 เป็นวงจรยกระดับแรงดันจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่ตำแหน่ง X และ Y ต่อเข้ากับไฟฟ้ากระแสสลับในรูปที่ 3 โดยที่ไฟฟ้ากระแสสลับตำแหน่ง X จะต่อเข้ากับสวิตช์ SW3 ส่วนตำแหน่ง Y ต่อเข้ากับตัวเก็บประจุ CG ซึ่งในตำแหน่ง Y เป็นตำแหน่งต่อลงดินของวงจรเมื่อเทียบกับไฟฟ้าแรงดันสูงด้านไฟบวก (+HV) และไฟฟ้าแรงดันสูงด้านไฟลบ (-HV) สำหรับวงจรนี้ตัวเก็บประจุ CN1 ถึง CNn และ CP1 ถึง CP(n-1) ทำหน้าที่ในการพักกระแส ตัวเก็บประจุ CN1* ถึง CNn* และ CP1* ถึง CPn* ทำหน้าที่ในการกรองกระแสทำให้ไฟฟ้าที่ได้เป็นกระแสตรง ส่วนไดโอด (DN1) (DN1*) ถึง (DNn) (DNn*) ทำหน้าที่นำกระแสในช่วงคลื่นลบ ส่วน (DP1) (DP1*) ถึง (DPn) (DPn*) ทำหน้าที่นำกระแสในช่วงคลื่นบวก สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันจะเพิ่มขึ้นเป็น 2n เท่าของ

แรงดันที่ตำแหน่ง X และ Y โดยการยกระดับแรงดันหนึ่งชั้นประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ 2 ตัว ไดโอด 2 ตัว ตัวอย่างเช่นชั้นที่ 1 ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ CS1 และ CN1* ส่วนไดโอดประกอบด้วย DN1 และ DN1* ตัวเก็บประจุ CS1 มีหน้าที่เก็บประจุ และพักกระแสของแรงดันไฟลบ ส่วนตัวเก็บประจุ CSn มีหน้าที่เก็บประจุ และพักกระแสของแรงดันไฟบวก โดยที่ตัวเก็บประจุ CS2 ถึง CS(n-1) และ CS(n+1) ถึง CSm ทำหน้าที่อัดกระแสช่วยทำให้วงจรมีกระแสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ชดเชยแรงดันที่สูญเสียไปเนื่องจากตัวเก็บประจุ CN1 ถึง CNn, CP1 ถึง CP(n-1), CN1* ถึง CNn* และ CP1* ถึง CPn* และไดโอด DN1 ถึง DNn, DP1 ถึง DPn, DN1* ถึง DNn* และ DP1* ถึง DPn* ทำให้มีระดับแรงดันไฟฟ้าสูง และกระแสจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนชั้นของตัวเก็บประจุ CS2 ถึง CS(n-1) และ CS(n+1) ถึง CSm เพิ่มขึ้น วงจรยกแรงดันนี้สามารถเลือกแรงดันได้ 3 แบบ โดยแต่ละแบบสามารถเลือกระดับแรงดันไฟฟ้าใน ระดับต่าง ๆ ได้

แบบที่ 1 แบบแรงดันไฟบวก (+HV) เมื่อเทียบกับตำแหน่งสายดิน Y สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าได้โดยใช้สวิตช์ SW2 และ SW4 ในการเลือกระดับแรงดันถ้าต้องการแรงดันไฟบวกสูงสุดให้เลื่อนสวิตช์ SW2 ไปตำแหน่ง G1 และเลื่อนสวิตช์ SW4 ไปตำแหน่ง Gm ส่วนสวิตช์ SW5 ไม่มีการเลือกตำแหน่งใด ๆ หรือสวิตช์อยู่ในสภาวะปิดนั่นเอง สำหรับการเลือกระดับแรงดันสามารถเลือกได้โดยใช้สวิตช์ SW2 และ SW4 โดยที่ตำแหน่งที่เลือก ถ้ามีลำดับที่แตกต่างกันมากจะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าลำดับที่แตกต่างกันน้อย อย่างเช่น เลือกสวิตช์ SW2 ที่ตำแหน่ง G3 และเลือกสวิตช์ SW4 ที่ตำแหน่ง Gm จะได้แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าเลือกสวิตช์ SW2 ที่ตำแหน่ง Gn และเลือกสวิตช์ SW4 ที่ตำแหน่ง G(m-1)

แบบที่ 2 แบบแรงดันไฟลบ (-HV) เมื่อเทียบกับตำแหน่งสายดิน (Y) การปรับแรงดันจะคล้ายกับแบบที่ 1 แต่ใช้สวิตช์ SW2 กับ SW5 ส่วนสวิตช์ SW4 อยู่ในตำแหน่งปิด สำหรับการเลือกตำแหน่งจะตรงข้ามกับแบบที่ 1 เช่น ถ้าต้องการแรงดันด้านไฟลบสูงสุดจะต้องปรับสวิตช์ SW2 ไปที่ตำแหน่ง Gm ส่วนสวิตช์ SW5 จะปรับไปที่ตำแหน่ง G1 การเลือกระดับแรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับตำแหน่งการเลือกของสวิตช์ SW2 และ SW5 เมื่อตำแหน่งที่เลือกมีลำดับแตกต่างกันมากจะทำให้ได้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าตำแหน่งที่เลือกที่มีลำดับแตกต่างกันน้อย

แบบที่ 3 แบบแรงดันไฟบวก (+HV) และไฟลบ (-HV) จะใช้สวิตช์ 3 ตัว คือ สวิตช์ SW2, SW4 และ SW5 ถ้าต้องการระดับแรงดันไฟด้านบวก และด้านลบให้มีระดับเท่ากันจะปรับตำแหน่ง SW2 ไปที่ตำแหน่ง Gn ส่วนสวิตช์ SW4 และ SW5 จะเลือกตำแหน่งที่มีลำดับห่างจากตำแหน่ง Gn เท่ากันทำให้ได้ไฟด้านบวก และลบเท่ากัน เช่น ปรับสวิตช์ SW2 ไปที่ตำแหน่ง Gn สวิตช์ SW4 ถูกปรับไปที่ตำแหน่ง G(n+2) และปรับสวิตช์ SW5 ไปที่ตำแหน่ง G(n-2) สำหรับการเพิ่มกระแสสามารถทำได้โดยเพิ่มจำนวนตัวเก็บประจุ CS2 ถึง CS(n-1) และ CS(n+1) ถึง CSm โดยใช้สวิตช์ (SW3) ซึ่งทำหน้าที่เลือกจำนวนตัวเก็บประจุ เมื่อตัวเก็บประจุ CS2 ถึง CS(n-1) และ

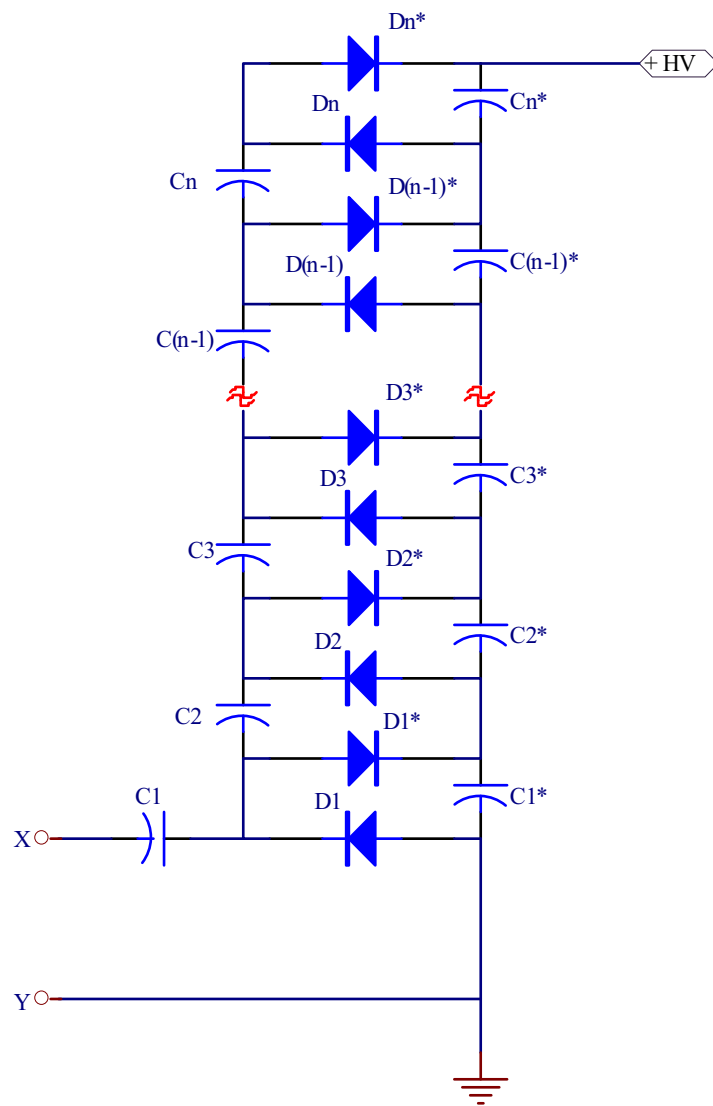
CS(n+1) ถึง CS_m เพิ่มขึ้นจะทำให้ไฟฟ้าสถิตที่ได้มีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพานี้ มีความเสถียรและทนทานขณะเกิดการดีสชาร์จเบรกดาวน์ หรือเกิดการสปาร์กเบรกดาวน์ของขั้วอิเล็กโทรดได้ดีกว่าวงจร Cockcroft – Walton และวงจรไบโพลาร์เนื่องจากขณะเกิดการดีสชาร์จเบรกดาวน์ จะทำให้เกิดกระแสเพิ่มขึ้นดังนั้นทั้งวงจร Cockcroft – Walton และวงจรไบโพลาร์ ตัวไดโอด และตัวเก็บประจุในชั้นที่หนึ่งจะรับกระแสไฟเต็มที่ จึงทำให้เกิดการเสียหายกับวงจรได้ แต่วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพานี้จะเกิดการดีสชาร์จเบรกดาวน์จะมีการแบ่งกระแสออกเนื่องจากมีตัวเก็บประจุ CS₁ ถึง CS_m และมีไดโอดแต่ละชั้นแบ่งเบากระแสจึงทำให้วงจรดังกล่าวมีความเสถียร และทนทาน

5. คำอธิบายรูปเขียนโดยย่อ

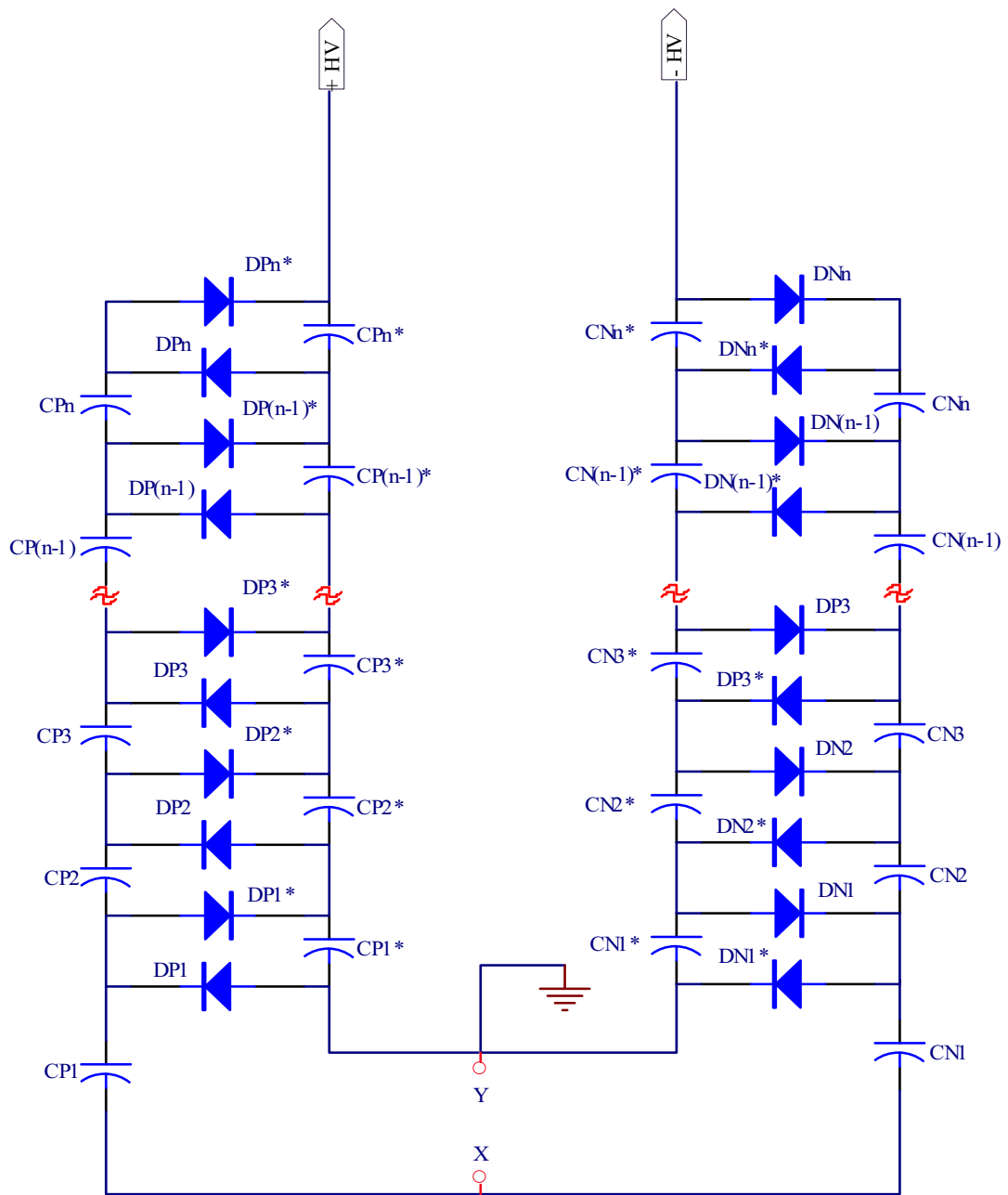
- รูปที่ 1 วงจรการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Cockcroft – Walton
- รูปที่ 2 วงจรการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์
- รูปที่ 3 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ
- รูปที่ 4 วงจรยกระดับแรงดันไฟฟ้าตามการประดิษฐ์นี้

6. วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด

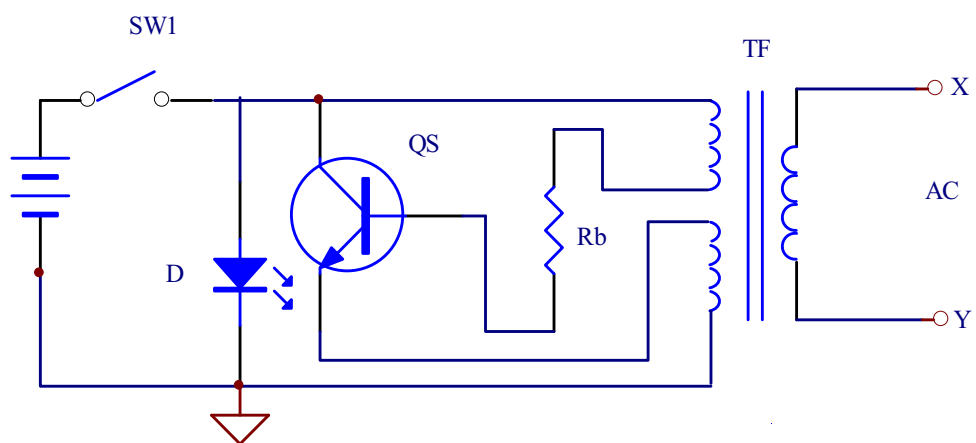
เหมือนกับที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์



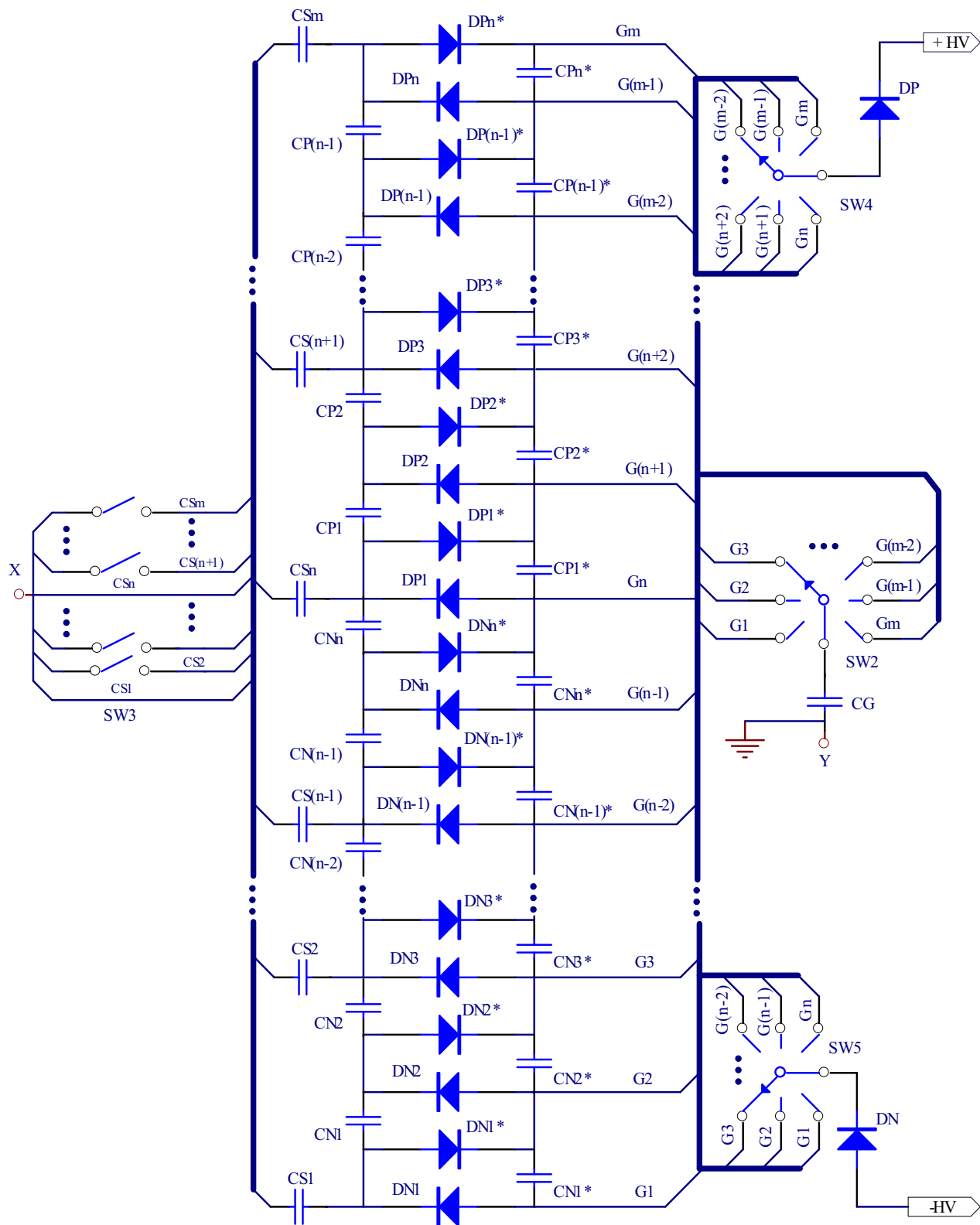
รูปที่ 1



รูปที่ 2



รูปที่ 3



รูปที่ 4

ข้อลือสิทธิ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตขนาดพกพาที่มีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับ และชุดวงจรยกแรงดันไฟฟ้า โดยชุดวงจรยกแรงดันไฟฟ้ามีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. สวิตช์ SW3 และ SW2 ต่อเข้ากับชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับ และที่ตำแหน่งสวิตช์ SW3 ต่อเข้ากับตัวเก็บประจุ CS1 ถึง CS_m สำหรับสวิตช์ SW3 ที่ตำแหน่ง CS1 และ CS_n จะปิดวงจรอย่างถาวรเพื่อทำให้เกิดแรงดันไฟลอป และบวกตามลำดับ ส่วนตำแหน่งอื่น ๆ ในสวิตช์ SW3 สามารถเปิด-ปิดได้สำหรับกรณีที่ต้องการการเพิ่มปริมาณกระแส และชดเชยแรงดันที่สูญเสียเนื่องจากไดโอด และตัวเก็บประจุ อีกทั้งยังทำให้วงจรมีความเสถียรเพิ่มขึ้นสำหรับตัวเก็บประจุ CN1 ถึง CP(n-1) ไดโอด DN1 ถึง DP_n และไดโอด DN1* ถึง DP_n* ทำหน้าที่พักกระแส และยกระดับแรงดันไฟฟ้า ส่วนตัวเก็บประจุ CN1* ถึง CP_n* ทำหน้าที่กรองกระแสเพื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ตำแหน่งสวิตช์ SW4 และ SW2 จะให้ระดับแรงดันไฟลอปบวกแบบกระแสตรง ส่วนสวิตช์ SW5 และ SW2 จะให้ระดับแรงดันไฟลอปแบบกระแสตรง สำหรับไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันไฟฟ้าทั้งบวก และลบจะใช้สวิตช์ SW4 และ SW5 โดยที่ตำแหน่งของสวิตช์เมื่อห่างกันมากขึ้นจะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย

บทสรุปการประดิษฐ์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสติดขนาดพกพา เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง แต่ให้ระดับกระแสไฟฟ้าต่ำ โดยใช้แบตเตอรี่อัลคาไลน์ เป็นแหล่งจ่ายไฟ ทำให้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งาน อีกทั้งยังมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และสามารถพกพาได้สะดวก นอกจากนี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสติดแบบพกพานี้ยังสามารถเลือกปรับระดับแรงดันไฟฟ้าสติดได้ 3 แบบ ได้แก่ แบบแรงดันไฟบวก แบบแรงดันไฟลบ และทั้งแบบแรงดันไฟบวกและไฟลบ อีกทั้งยังสามารถเลือกกระแสไฟฟ้าสติดได้อีกด้วย

ภาคผนวก ข.1

**Investigation of Nozzle Shape Effect on Samarium Doped Ceria Thin Film
Prepared by Electrostatic Spray Deposition, Thin Solid Films, (accepted).**

**Investigation of Nozzle Shape Effect on $\text{Sm}_{0.1}\text{Ce}_{0.9}\text{O}_{1.95}$ Thin Film Prepared by
Electrostatic Spray Deposition**

Bussarin Ksapabutr ^{a,*}, Manop Panapoy ^a, Kittikhun Choncharoen ^a,
Sujitra Wongkasemjit ^b, Enrico Traversa ^c

^a Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and
Industrial Technology, Silpakorn University, Sanamchandra Palace Campus,
Nakorn Pathom 73000, Thailand

^b The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, Bangkok
10330, Thailand

^c Department of Chemical Science and Technology, University of Rome "Tor
Vergata", Roma, Italy

Abstract

Dense samarium doped ceria (SDC) thin films are deposited using electrostatic spray deposition (ESD) technique. The influences of nozzle shape on the distribution of liquid jet at the nozzle tip and the morphology of the deposited SDC films are elucidated. Geometries of three nozzles employed are flat, sawtooth and wedge tips. From the observation of jet formation, the nozzle in flat shape gives the highest distribution of emitted droplets. The deposited films are characterized using a combination of XRD, SEM and AFM techniques. XRD results reveal that the single-phase fluorite structure forms at a relatively low deposition temperature of 400°C. The

flat spray tip provides the most uniform and smooth thin films, and also presents the lowest agglomeration of particles on thin film surface.

Keywords: Samarium doped ceria; Electrostatic spray deposition; Thin film; Solid oxide fuel cells

*Corresponding author. Tel.66-34-219-363; Fax.66-34-219-363;

E-mail address: bussarin@su.ac.th (B. Ksapabutr)

1. Introduction

Recently, solid oxide fuel cells (SOFCs) have attracted a great deal of attention because they can produce electricity directly by electrochemical combination of a gaseous fuel with an oxidant in an efficient energy-conversion and environmental friendly technology. While several researchers emphasize on the development of SOFCs for operating at extremely high temperatures (900-1000°C), it becomes increasingly important to reduce the operation temperature of the fuel cell to the intermediate range of 500-800°C to increase the operational life and reduce the thermal mismatch between cell components [1-3]. Consequently, great efforts have recently been taken to decrease the operating temperature of SOFCs. Two approaches are widely used to decrease the resistance of dense electrolyte thin films, either by reducing the thickness of the traditional yttria-stabilized zirconia (YSZ) electrolyte or employing the alternative electrolytes of higher ionic conductivity at lower temperature. Doped ceria is considered to be one of the most promising electrolytes for SOFCs operating at intermediate temperature range due to cheaper materials, less thermal mismatch, and lower degradation problems [4-8].

Various thin-film fabrications, such as chemical vapor deposition [9], rf magnetron sputtering [10], laser deposition [11], plasma coating [12] or flame-assisted vapor deposition [13], have been used to prepare the components of SOFCs. In the past few years, a novel spray pyrolysis technique, electrostatic spray deposition (ESD), was employed to produce thin films of many oxide materials. This technique is superior to other film formation methods due to its simplicity, non-vacuum deposition condition and an economical and effective deposition with simple setup and inexpensive and non-toxic precursors [14-16].

In principle, dense and thin ceramic films are needed for SOFC electrolytes. Therefore, the preparation of dense and thin SDC films appears to be a valuable means to achieve such a challenge. In this contribution, the application of electrostatic spray deposition to fabricate dense SDC thin films was investigated. The shape of nozzle requires a special attention resulting in the homogeneous thin film and the control of deposition area. Therefore, the effect of nozzle shapes on the distribution of liquid jet at the nozzle tip and the morphology of the deposited SDC films were discussed. Furthermore, the effect of calcination temperature on the crystallinity of the films was also elucidated.

2. Experimental

2.1 Electrostatic spray deposition (ESD) setup

The configuration of ESD setup employed to deposit SDC thin films was schematically demonstrated in Fig. 1(a). It consists of a precursor feeding unit, a power supply unit and a temperature control unit. Precursor solution was pumped towards a spraying nozzle by means of a peristaltic pump (Watson Marlow, 101U/R). When high positive voltage was applied on the precursor solution, electrostatic field

was established between metal capillary nozzle and grounded substrate. Owing to electrostatic force generated, precursor solution was atomized into charged droplets. These charged droplets were attracted to the heated substrate, and then deposited on the substrate to form a thin solid layer.

2.2 Preparation of precursor solution

$\text{Sm}_{0.1}\text{Ce}_{0.9}\text{O}_{1.95}$ material was prepared using samarium nitrate hexahydrate ($\text{Sm}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 99.99 % purity, Aldrich Chemical) and cerium nitrate hexahydrate ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 99.99 % purity, Aldrich Chemical) as starting materials. The appropriate quantities of metal nitrates were dissolved in ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, 99 % purity, Fluka) as the chemical precursor solution. The molar ratio Sm/Ce was equal to 0.1:0.9. The total molar concentration of metal ions was 0.02 mol dm^{-3} .

2.3 Spray patterns at the nozzle tip and deposition of samarium doped ceria film

The spray patterns with various types of nozzles were monitored using a CCD digital video camera (Sony DCR-TRV17E). Precursor solution was deposited on aluminum foil for studying area coverage of deposition or on stainless steel (316L) for fabricating SDC thin films. The substrate temperature was kept at 400°C . The deposition time was 2 h under ambient atmosphere, and the flow rate of the precursor solution was controlled at 0.84 ml h^{-1} . The applied voltage was set at 15 kV. The substrate was placed above the tip of nozzle at 13 cm on a heater controlled by temperature controller. Three different nozzle configurations employed were demonstrated in Fig. 1(b). After deposition, the calcination was also carried out at 700°C for 2 h to investigate the crystallization formation.

2.4 Characterization

Thermogravimetric analysis (Perkin Elmer, TGA7) was performed on the precursor solution with a heating rate of $5^{\circ}\text{C min}^{-1}$. The phase compositions and the crystal structures of the as-deposited and annealed films were characterized by X-ray diffraction (XRD) with an automated Rigaku D/Max 2000HV diffractometer equipped with Cu-K α radiation source. The film morphology and composition were examined by scanning electron microscope (SEM, Cam Scan, Maxim 2000S) coupled with energy dispersive X-ray (EDX) analyzer. The film roughness was measured by atomic force microscope (AFM, Seiko, SPI 400 DFM mode). To examine the film thickness, scanning electron microscope (SEM, Hitachi, S3400N) was employed for films deposited on glass substrate. Additionally, the effect of temperature on the crystallinity was investigated. Therefore, the resultant thin films were annealed for 2 h in air at 700°C .

3. Results and discussion

To determine an indication of suitable deposition temperature for this study, precursor solution was elucidated using TGA. TG-DTG thermograms in Fig. 2 show the thermal behavior of this precursor solution heated up to 1000°C . The major weight losses below 300°C were attributed to evaporation of solvent and water, and decomposition of nitrate [17]. Therefore, the substrate temperature in this observation was controlled at 400°C . Spray patterns and droplet dispersion with three different nozzle configurations were recorded as images (Figs. 3 and 4). With using the wedge-shaped and sawtooth-shaped tips, the precursor solution was emitted from the orifice of the nozzle apex. Therefore, the nozzle with the wedge outlet appeared one position of atomization, whereas the nozzle with the sawtooth outlet exhibited two positions of

atomization. Furthermore, the deviation of the spray emission from the center axis of the nozzle was observed for the wedge tip. For using the flat tip, the precursor solution was ejected into spray as it emanated from the orifice exit with large spray angle. Similar spray pattern obtained from flat tip was reported by Nomura et al. [18]. This was due to the nozzle tip nearer to the substrate surface than other regions of the nozzle, which resulted in the maximum surface charge density at the apex of the nozzle. Therefore, the highest electric field generated by the potential difference between nozzle and substrate was achieved at the nozzle apex, indicating the spray position of precursor solution [19]. In addition to these spray patterns at the nozzle tips, the deposition patterns deposited on substrate were also considered. Fig. 5 reveals photographs of various deposition patterns acquired at different nozzle geometries. It can be seen that the wedge and flat outlets presented the deposition patterns in circle shape (Figs. 5(a) and (c)), while the sawtooth outlet gave the deposition pattern in ellipse shape (Fig. 5(b)). Due to two positions of atomization for sawtooth tip, the pattern of deposition was shown as two rings with some overlap, which resulted in an ellipse pattern. Moreover, the flat tip gave the largest area coverage of deposition compared to sawtooth and wedge tips, respectively. It might be because that precursor solution was emitted along the circumference of orifice outlet with higher spray angle leading to the uniformity of aerosol plume atomization.

The SEM micrographs of SDC thin films fabricated using different nozzle shapes were illustrated in Fig. 6. All as-deposited coatings were fully dense and crack-free. However, the film prepared by flat tip showed lower powder-like agglomerates of tiny particles than those obtained by sawtooth and wedge tips, respectively. This is due to the uniformity of dispersion spray observed with the use of flat tip, as described above. Fig. 7 displays the cross-sectional SEM images of the

films deposited using various shapes of nozzles. The dense microstructures without cracks were observed in these images corresponding to the top-view SEM micrographs. In the case of using sawtooth tip, the resultant films had higher thickness than the films deposited using wedge and flat tips, respectively. It is probably due to an overlapping deposition area was observed containing two circle shaped-coatings, which resulted in a non-homogeneous deposition. The film thicknesses were approximately 560, 440 and 240 nm for sawtooth, wedge and flat tips, respectively. In the cross-sectional micrographs, it can be also noted that the substrate layer in Fig. 7(c) is different from those in Figs. 7(a) and (b) because some defects of the glass substrate layer was obtained from the fracture of the bi-layer film for SEM sample preparation.

Fig. 8 demonstrates two and three-dimensional AFM images of the surface topography of thin films deposited by different nozzle shapes at 400°C. Root mean square (RMS) roughnesses of the films deposited using flat, wedge, and sawtooth tips were 47.53, 67.84, and 77.94 nm, respectively. Obviously, the film fabricated by flat tip was smoother than those produced by wedge and sawtooth tips. These observations indicated that flat outlet is optimal for the feeding and spraying of SDC precursor solution to achieve thin dense films with uniformity and free of pinholes and cracks.

The elemental composition of the resulting thin films was identified using EDX analysis. At least eighteen points on the observed films were measured and the average values were reported. The observed Sm/Ce atomic ratio of SDC thin films was equal to 0.13:0.87, which is consistent with that of the precursor solution (0.10:0.90).

The XRD patterns of SDC thin films deposited at 400°C and then heat-treated at 700°C were illustrated in Fig. 9. It was found that both as-deposited and annealed films exhibited single phase crystallite with cubic fluorite structure. As the annealing temperature was increased to 700°C, stronger and sharper peaks were attained. This means that the overall crystallinity of SDC thin films was enhanced with the increment of thermal treatment. After applying the Scherrer formula to the (1 1 1) diffraction peak of SDC, the crystallite size for the as-deposited film are growing from 7.4 to 12.9 nm after heat treatment.

4. Conclusions

Nanocrystalline SDC thin films with dense microstructure and free of cracks have been successfully deposited on stainless steel substrate at a relatively low-temperature fabrication using ESD technique. The geometry of the nozzle tip drastically influenced the spray pattern during spraying and the agglomeration of particles on thin layers. The nozzle with flat tip resulted in the greatest uniformity and smoothness of dense coating with the lowest thickness of 0.24 µm. The as-deposited films were crystalline. After an annealing of 700°C for 2 h, the crystallinity of SDC films was enhanced.

5. Acknowledgements

The authors are grateful for the financial support of the Thailand Research Fund (TRF), The Commission of Higher Education and Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University.

6. References

1. S. Ohara, R. Maric, X. Zhang, K. Mukai, T. Fukui, H. Yoshida, T. Inagaki, K. Miura, J. Power Sources 86 (2000) 455.
2. N. Q. Minh, J. Am. Ceram. Soc. 76(3) (1993) 563.
3. A. B. Stambouli, E. Traversa, Renew. Sust. Energ. Rev. 6 (2002) 433.
4. V. V. Khartona, F.M.B. Marquesa, A. Atkinsonb, Solid State Ionics 174 (2004) 135.
5. H. Inabi, H. Tagawa, Solid State Ionics 83 (1996) 1.
6. D. L. Maricle, T.E. Swarr, S. Karavolis, Solid State Ionics 52 (1992) 173.
7. B. C. H. Steele, Solid State Ionics 129 (2000) 95.
8. K. Zheng, B. C. H. Steele, M. Sahibzada, I.S. Metcalfe, Solid State Ionics 86–88 (1996) 1241.
9. G. L. Bertrand, G. Caboche, L. C. Dufour, Solid State Ionics 129 (2000) 219.
10. X. Zhang, H. Ma, Q. Wang, J. Ma, F. Zong, H. Xiao, F. Ji, S. Hou, Physica B. 364 (2005) 157.
11. X. Han, G. Wang, J. Jie, X. Zhu, J. G. Hou, Thin Solid Films 491 (2005) 249.
12. H. B. Wang, J. F. Gao, D. K. Peng, G. Y. Meng, Mater. Chem. Phys. 72 (2001) 297.
13. K. L. Choy, S. Charojrochkul, B. C. H. Steele, Solid State Ionics 96 (1997) 49.
14. T. Nguyen, E. Djurado, Solid State Ionics 138 (2001) 191.
15. I. Taniguchi, R. C. Van Landschoot, J. Schoonman, Solid State Ionics 160 (2003) 271.
16. C.-Y. Fu, C.-L. Chang, C.-S. Hsu, B.-H. Hwang, Mater. Chem. Phys. 91 (2005) 28.

17. M. Kamruddin, P. K. Ajikumar, R. Nithya, G. Mangamma, A. K. Tyagi, B. Raj, Powder Technol. 161 (2006) 145.
18. H. Nomura, S. Parekh, J.R. Selman, S. A-Hallaj, J. Appl. Electrochem. 35 (2005) 61.
19. H. D. Young, R. A. Freedman, University Physics, Addison Wesley, San Francisco, 2004.

Figure Captions

Figure 1. (a) Schematic diagram of electrostatic spray deposition setup, (b) geometry of three nozzles for the feeding of precursor solution. (θ = tip angle, ϕ_i = inner diameter and ϕ_o = outer diameter)

Figure 2. TG-DTG thermograms of precursor solution.

Figure 3. Photographs of electrospray plume during spray at (a) wedge tip; (b) sawtooth tip; (c) flat tip.

Figure 4. Schematic sketches of spray patterns during spray at (a) wedge tip; (b) sawtooth tip; (c) flat tip.

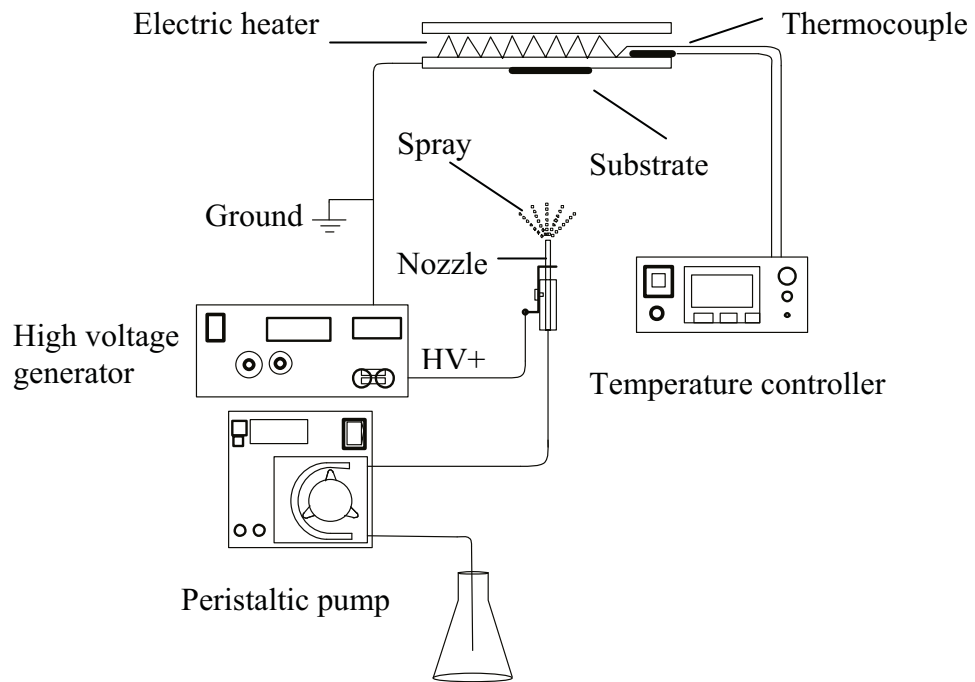
Figure 5. Photographs of deposition patterns sprayed with various nozzle geometries (a) wedge tip; (b) sawtooth tip; (c) flat tip.

Figure 6. SEM micrographs of the SDC films prepared using (a) wedge tip; (b) sawtooth tip; (c) flat tip.

Figure 7. SEM cross-sectional images of the SDC films prepared using different nozzle geometries (a) wedge tip; (b) sawtooth tip; (c) flat tip.

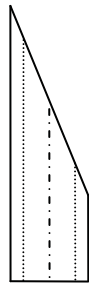
Figure 8. AFM topologies of the surface of the SDC thin films deposited using (a) wedge tip; (b) sawtooth tip; (c) flat tip.

Figure 9. XRD patterns of SDC films (a) as-deposited at 400°C; (b) after annealing at 700°C.



(a)

Wedge tip

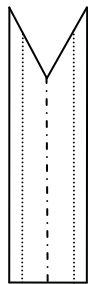


$$\theta = 15^\circ$$

$$\phi_i = 0.394 \text{ mm}$$

$$\phi_o = 0.711 \text{ mm}$$

Sawtooth tip



$$\theta = 30^\circ$$

$$\phi_i = 0.394 \text{ mm}$$

$$\phi_o = 0.711 \text{ mm}$$

Flat tip



$$\theta = 0^\circ$$

$$\phi_i = 0.394 \text{ mm}$$

$$\phi_o = 0.711 \text{ mm}$$

(b)

Figure 1. (Ksapabutr et al.)

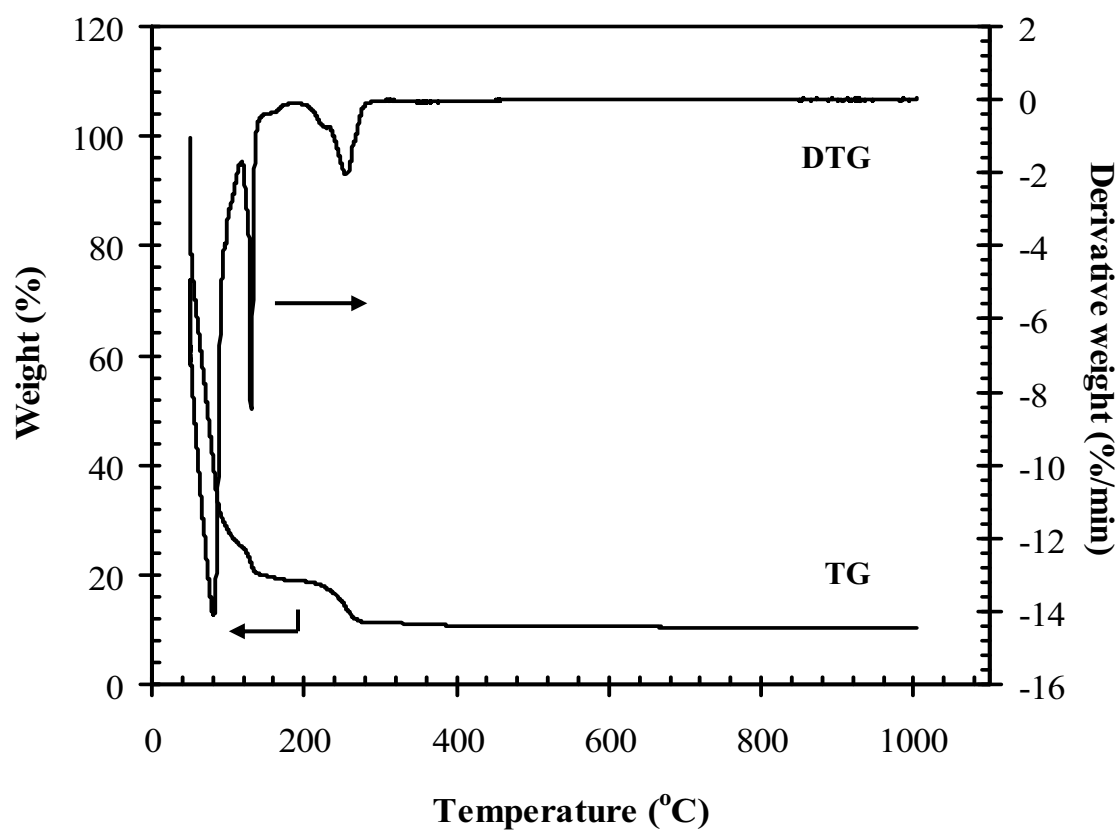
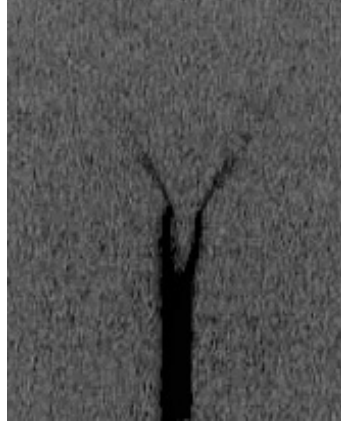


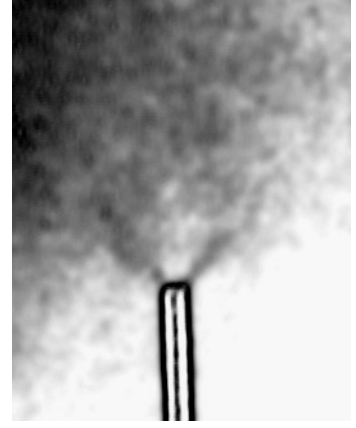
Figure 2. (Ksapabutr et al.)



(a)

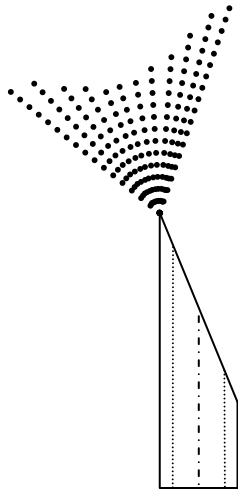


(b)

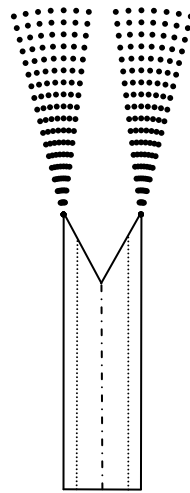


(c)

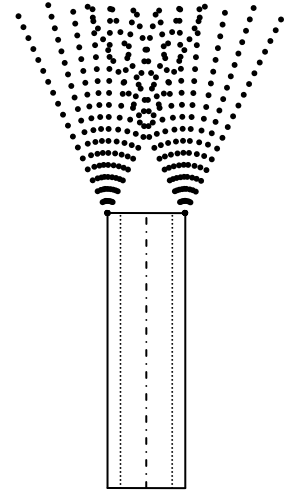
Figure 3. (Ksapabutr et al.)



(a)

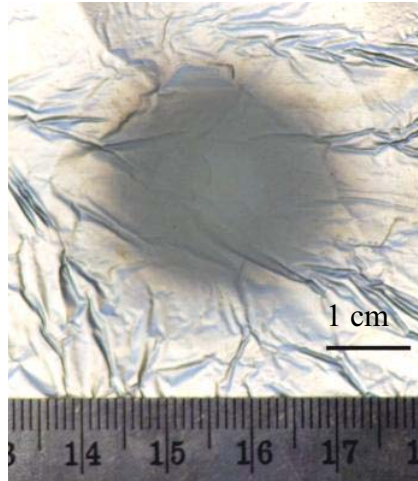


(b)

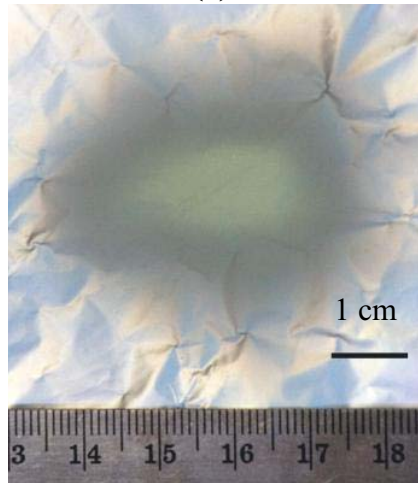


(c)

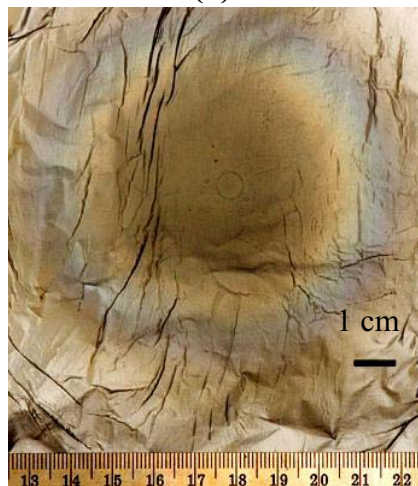
Figure 4. (Ksapabutr et al.)



(a)

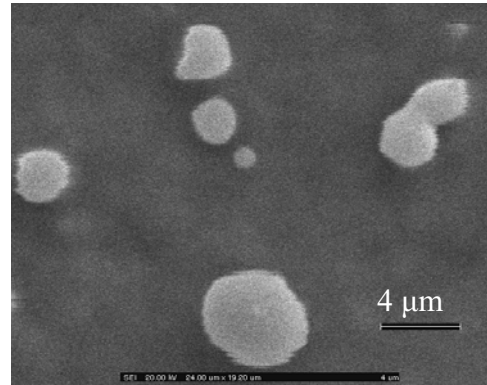
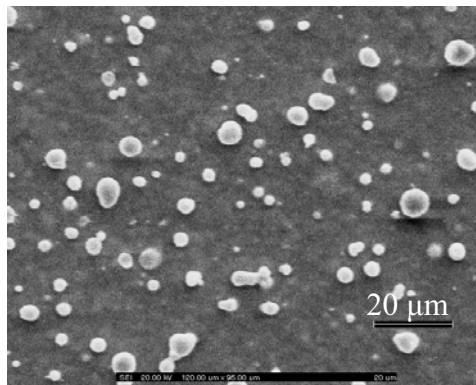


(b)

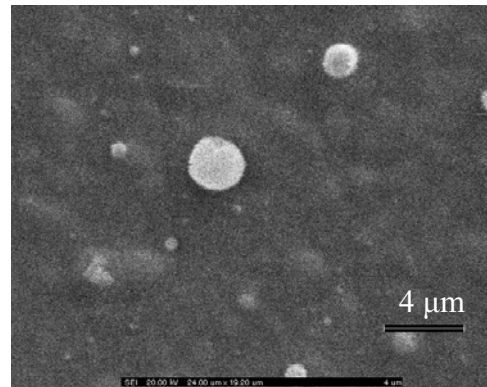
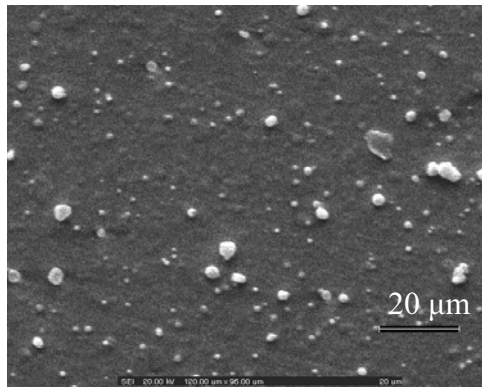


(c)

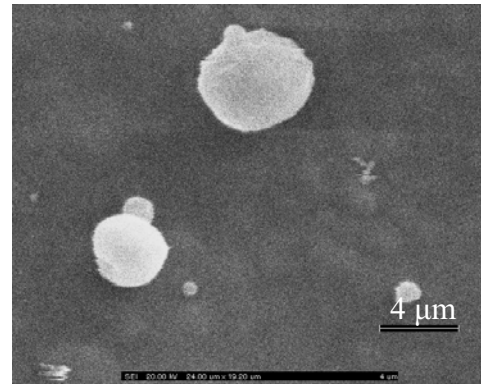
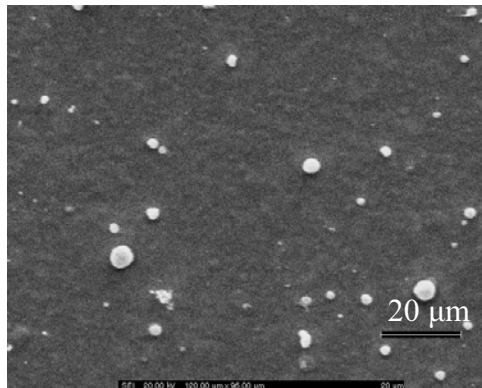
Figure 5. (Ksapabutr et al.)



(a)



(b)



(c)

Figure 6. (Ksapabutr et al.)