

## บทที่ 4

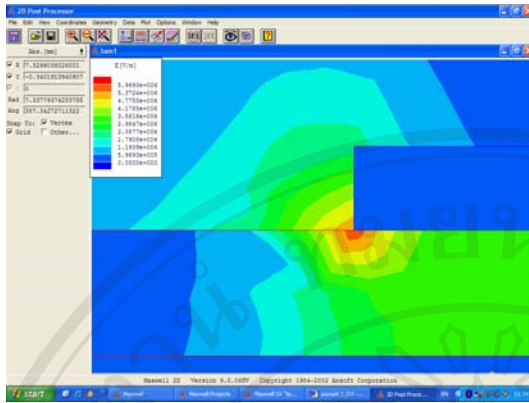
### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการจำลองการเกิดสนามไฟฟ้าแบบ Surface Discharge

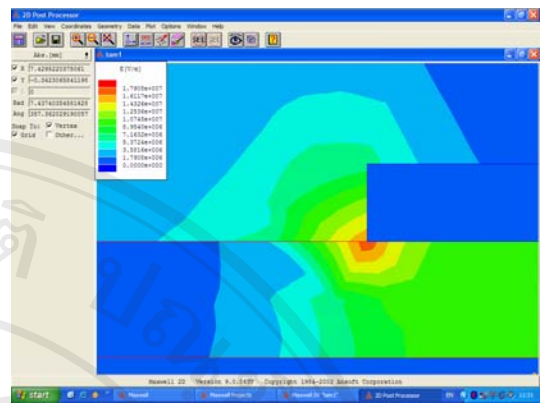
##### 4.1.1 ผลของการเปลี่ยนชนิดของไดอิเล็กตริกต่อสนามไฟฟ้า

จากผลการจำลองเปลี่ยนไดอิเล็กตริกชนิดต่างๆ โดยออกแบบอิเล็กโทรด มี ขนาด ความหนา (w) 0.2 มิลลิเมตร ระยะ (d) ระหว่างอิเล็กโทรด เท่ากับ 2 มิลลิเมตร แผ่นไดอิเล็กตริกมี ความหนา ( $\Delta$ ) 0.3 มิลลิเมตร และแผ่นกราวด์มีขนาด 70 มิลลิเมตรภายใต้ความดันบรรยากาศ เมื่อเปรียบเทียบค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (รูปที่ 4.1) จากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า ความเครียดสนามไฟฟ้าของควอตซ์มากกว่าอะลูมินา โอกาสที่จะเกิดการเบรคดาวน์ของอะลูมินา น้อยกว่าของควอตซ์ เป็นต้น ในระบบพลาสมาความดันบรรยากาศต้องการไดอิเล็กตริกที่สามารถ ทนแรงดันสูงได้ดี จากการทดลองพบว่าอะลูมินามีความคงทนต่อไฟแรงสูงดีที่สุด และเมื่อทดลอง ที่แรงดันเริ่มต้นที่ 1 กิโลโวลต์จนถึง 15 กิโลโวลต์ (รูปที่ 4.2) เมื่อพิจารณาที่ผิวของอิเล็กโทรด พบว่า การกระจายของสนามไฟฟ้ามีลักษณะที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกันและบริเวณที่มุมของ อิเล็กโทรดจะมีค่าของสนามไฟฟ้าสูงที่สุดคือ  $5.372 \times 10^6$  โวลต์ต่อเมตร สรุปได้ว่า การเลือกใช้ ไดอิเล็กตริกที่มีความคงทนต่อแรงดันสูงเหมาะสมกับระบบ ทำให้ลดต้นทุนในการผลิต และอายุ การใช้งานของโพลไดอิเล็กตริกเพิ่มสูงขึ้น

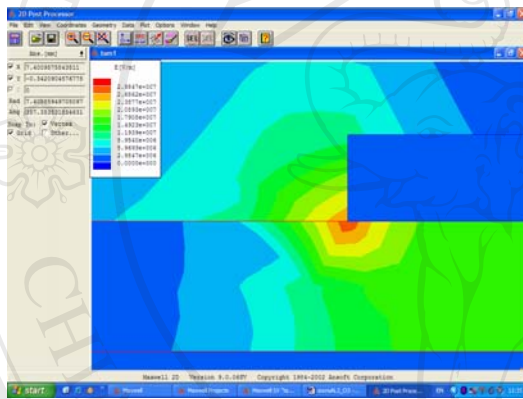




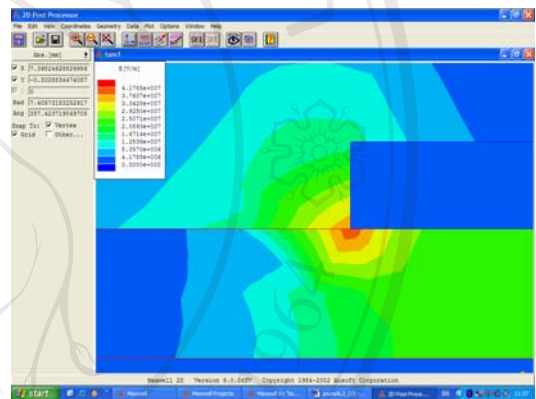
1 kV



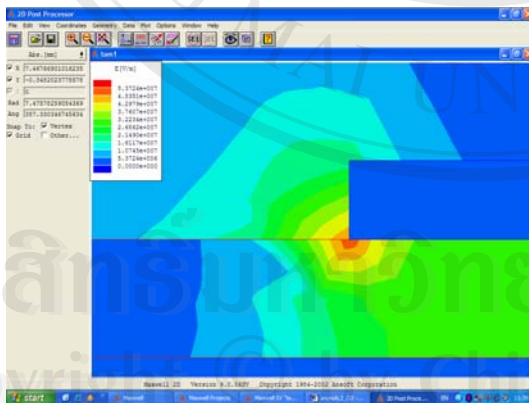
3 kV



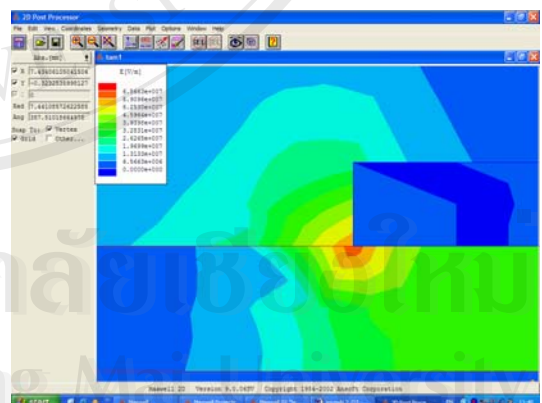
5 kV



7 kV



9 kV



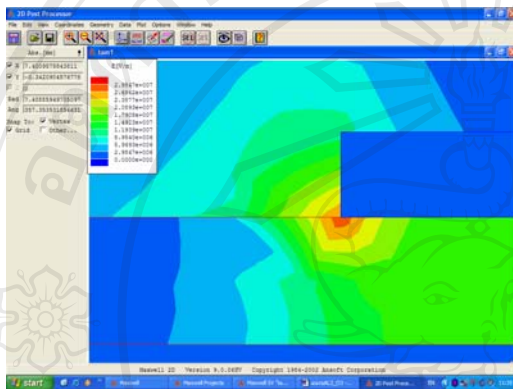
11 kV

รูปที่ 4.2 การเกิดสนามไฟฟ้าแบบ surface discharge ภายใต้ความดันบรรยากาศ และ ไดอิเล็กทริกเป็นอะลูมินา ที่แรงดันค่าต่างๆ,  $d = 2$  มม. และ  $\Delta = 0.3$  มม.

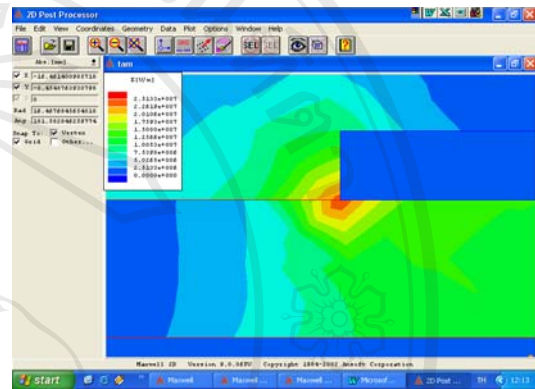
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
Copyright © 2015  
All rights reserved

#### 4.1.2 ผลของการเปลี่ยนความหนาของไดอิเล็กตริกต่อสนามไฟฟ้า

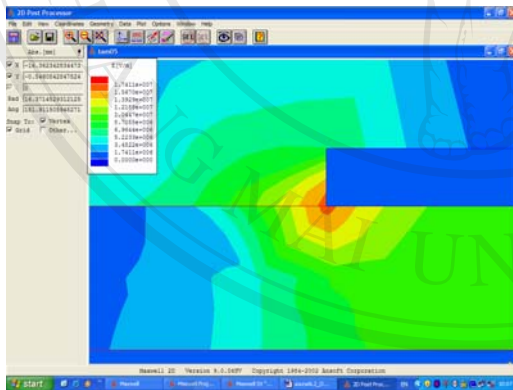
เมื่อทำการทดลองเปลี่ยนความหนา ( $\Delta$ ) ของแผ่นไดอิเล็กตริกให้มีขนาดเพิ่มขึ้น จาก 0.3 มิลลิเมตรจนถึง 0.5 มิลลิเมตร พบว่าค่าสนามไฟฟ้าที่ได้มีค่าน้อยลงเมื่อความหนาของแผ่นไดอิเล็กตริกมากขึ้นจะมีค่ามากขึ้น แต่สนามไฟฟ้าที่บริเวณมุมของอิเล็กโทรดของแผ่นไดอิเล็กตริกบาง มีบริเวณที่มากกว่าแผ่นไดอิเล็กตริกหนา ทำให้โอกาสที่เกิดการเบรกดาวน์สูง (รูปที่ 4.3)



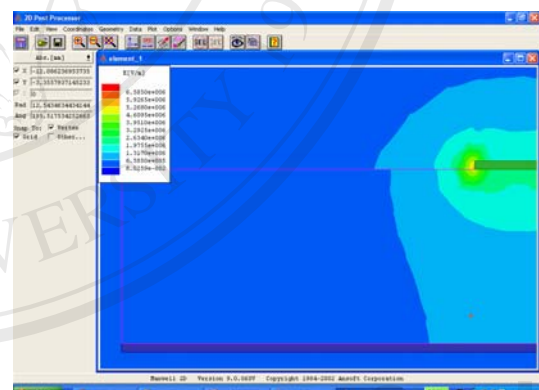
$\Delta = 0.3$  มม.



$\Delta = 0.4$  มม.



$\Delta = 0.5$  มม.



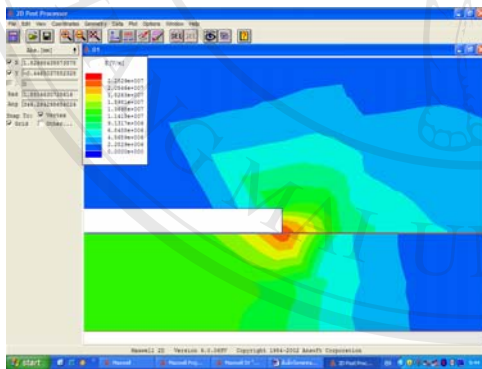
$\Delta = 1.0$  มม.

รูปที่ 4.3 การเกิดสนามไฟฟ้าแบบ surface discharge เมื่อความหนาของไดอิเล็กตริก ( $\Delta$ ) เพิ่มขึ้น ที่แรงดันไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์ และ  $d = 2$  มม.

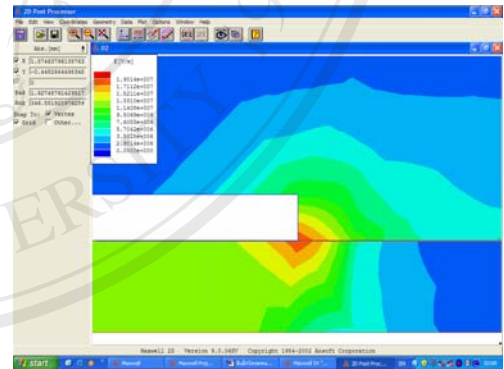
#### 4.1.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดและระยะห่างของอิเล็กโทรดต่อสนามไฟฟ้า

ผลการจำลองเรื่องของการออกแบบอิเล็กโทรดนั้น ทำการอิเล็กโทรดขนาดกว้าง(L) 2 มิลลิเมตร มีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (d) 2 มิลลิเมตรและมีการลดความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณมุมของอิเล็กโทรดโดยมีการลบมุมที่รัศมีความโค้ง 0.05 มิลลิเมตร แผ่นไดอิเล็กตริกมีขนาดความหนา ( $\Delta$ ) 0.4 มิลลิเมตร เปลี่ยนความหนาของอิเล็กโทรด (w) ตั้งแต่ 0.1 มิลลิเมตรถึง 10 มิลลิเมตร พบว่า สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่บริเวณด้านผิวของอิเล็กโทรด มีการกระจายตัวน้อยลง เมื่อความหนาของอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.4)

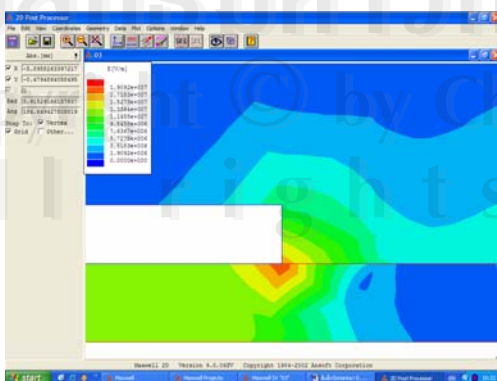
จากผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความกว้างและระยะห่างระหว่างขั้วของอิเล็กโทรดโดยออกแบบอิเล็กโทรดให้มีความกว้างตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตร ถึง 1.5 มิลลิเมตร แต่ละขนาดความกว้างทำการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดให้เพิ่มขึ้น จนสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของอิเล็กโทรดไม่มีความสม่ำเสมอ พบว่า อิเล็กโทรดที่มีความกว้างน้อยยให้ความสม่ำเสมอของสนามไฟฟ้าได้ดีกว่าอิเล็กโทรดที่ความกว้างมากและจากผลการจำลองที่ได้ให้ข้อมูลที่ที่น่าสนใจอย่างหนึ่งซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ความกว้างของอิเล็กโทรดค่าหนึ่งจะมีระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดค่าหนึ่งที่เหมาะสมทำให้สนามไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอมากที่สุด (รูปที่ 4.5)



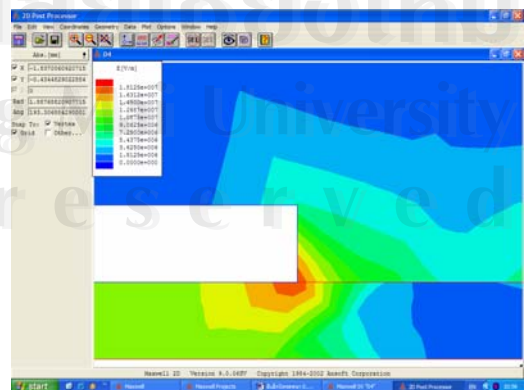
w = 0.1 มม.



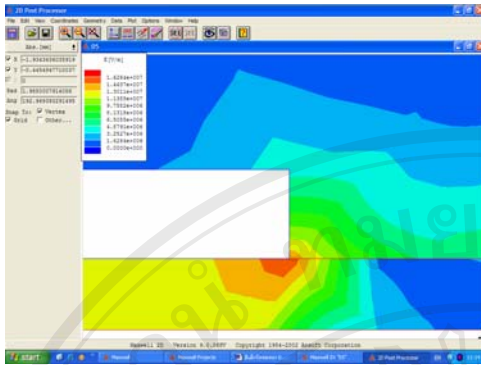
w = 0.2 มม.



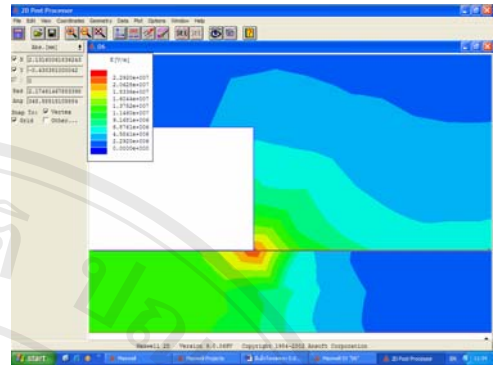
w = 0.3 มม.



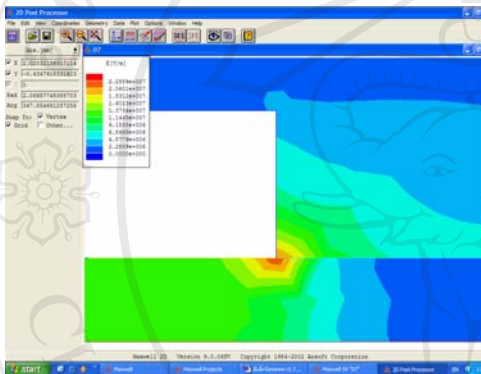
w = 0.4 มม.



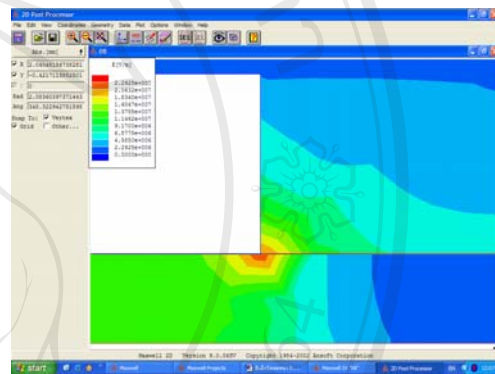
w = 0.5 มม.



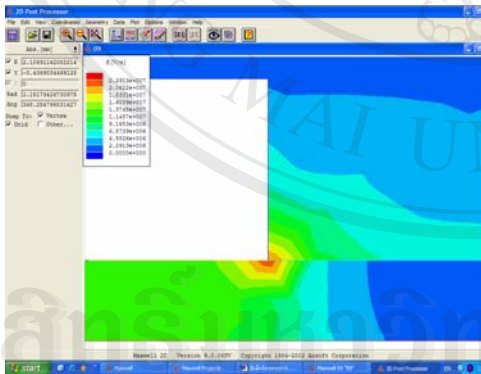
w = 0.6 มม.



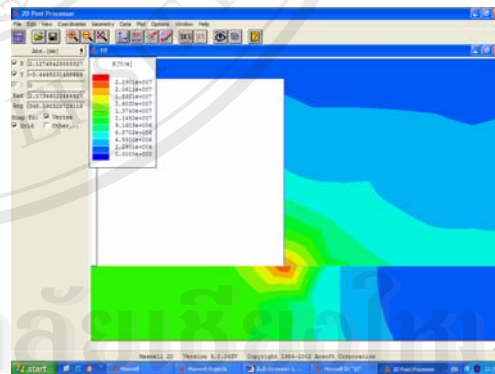
w = 0.7 มม.



w = 0.8 มม.

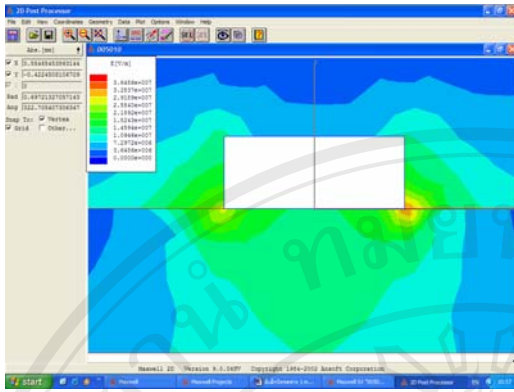


w = 0.9 มม.

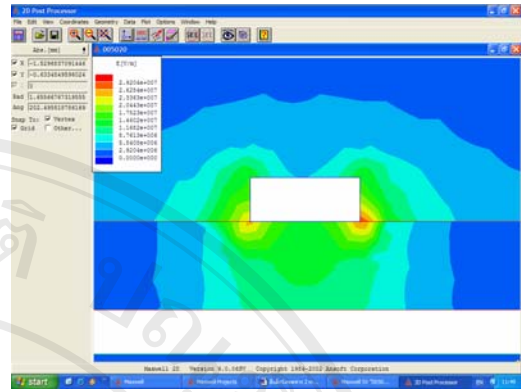


w = 1.0 มม.

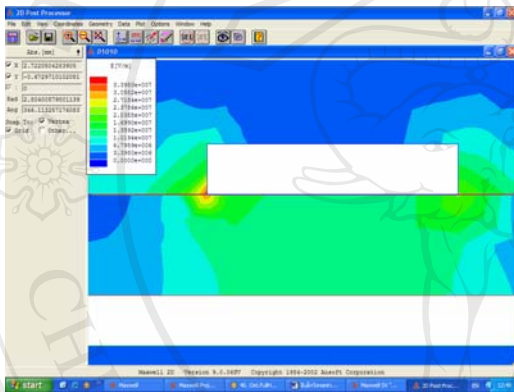
รูปที่ 4.4 การเกิดสนามไฟฟ้าแบบ surface discharge เมื่อความหนา (w) ของอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น ที่แรงดัน 5 กิโลโวลต์, d = 2 มม. และ  $\Delta = 0.4$  มม.



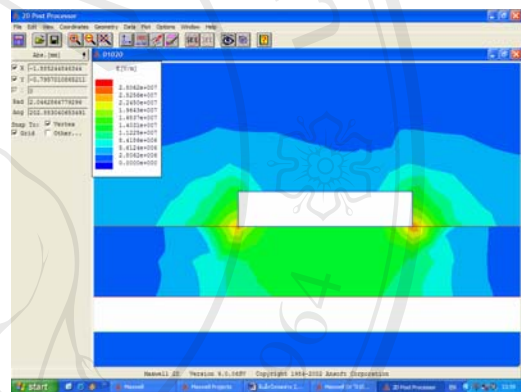
$L = 0.5 \text{ มม.} \quad d = 1 \text{ มม.}$



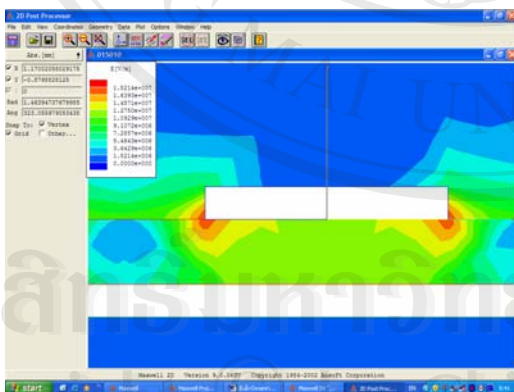
$L = 0.5 \text{ มม.} \quad d = 2 \text{ มม.}$



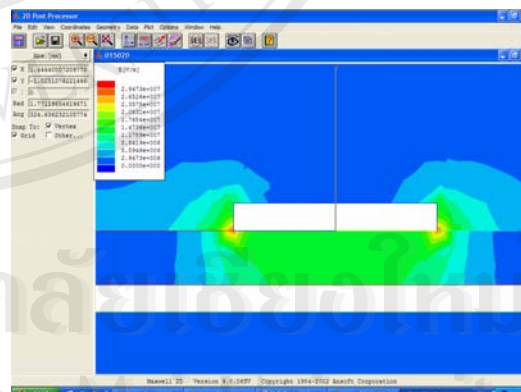
$L = 1.0 \text{ มม.} \quad d = 1 \text{ มม.}$



$L = 1.0 \text{ มม.} \quad d = 2 \text{ มม.}$



$L = 1.5 \text{ มม.} \quad d = 1 \text{ มม.}$



$L = 1.5 \text{ มม.} \quad d = 2 \text{ มม.}$

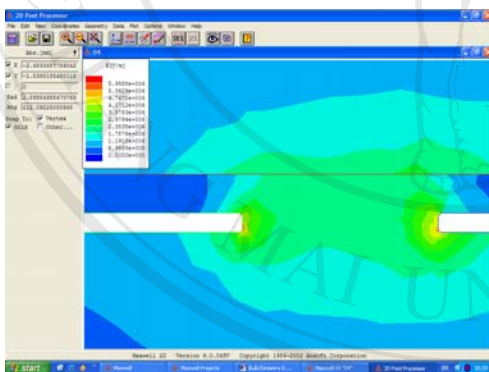
รูปที่ 4.5 การเกิดสนามไฟฟ้าแบบ surface discharge เมื่อความกว้าง (L) และ ระยะห่าง (d) ของอิเล็กโทรดต่างกัน ที่แรงดัน 5 กิโลโวลต์,  $\Delta = 0.4 \text{ มม.}$  และ  $w = 0.2 \text{ มม.}$

## 4.2 ผลการจำลองการเกิดสนามไฟฟ้าแบบ coplanar discharge

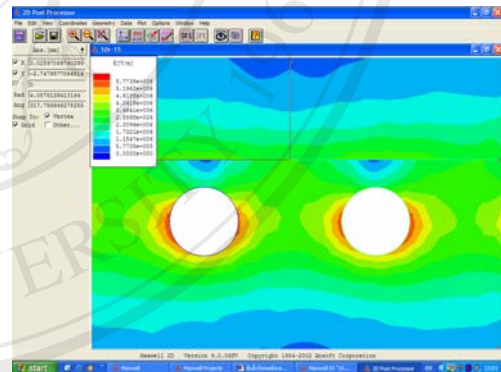
จากผลการจำลองการเกิดสนามไฟฟ้าแบบ coplanar discharge ได้ออกแบบอิเล็กโทรดใน 2 ลักษณะคือแบบสี่เหลี่ยมและแบบกลม สำหรับอิเล็กโทรดสี่เหลี่ยมมีขนาดความกว้าง (L) 2 มิลลิเมตร หนา (w) 0.2 มิลลิเมตร มีระยะห่าง(d)ระหว่างอิเล็กโทรด 2 มิลลิเมตร และมีการลบมุมทั้ง 4 มุมขนาดรัศมีมีความโค้ง 0.5 มิลลิเมตร ในกรณีอิเล็กโทรดแบบแท่งกลมมีรัศมี (r) 1 มิลลิเมตร ระยะห่าง (d) ระหว่างอิเล็กโทรด 2 มิลลิเมตร โดยที่อิเล็กโทรดทั้งสองแบบถูกฝังภายในไดอิเล็กตริก ที่มีขนาดกว้าง 30 มิลลิเมตร. หนา ( $\Delta$ ) 5 มิลลิเมตร

### 4.2.1 ผลของความหนาของไดอิเล็กตริกต่อการเกิดสนามไฟฟ้า

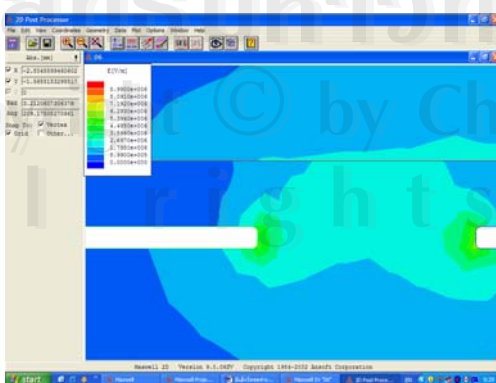
ผลจากการทดลองการเปลี่ยนแปลงความหนา( $\Delta$ )ของไดอิเล็กตริก ตั้งแต่ 0.1 มิลลิเมตร ถึง 1 มิลลิเมตร พบว่า เมื่อความลึกของอิเล็กโทรดที่ฝังในแผ่นไดอิเล็กตริกที่มีความหนาน้อย มีการกระจายของสนามไฟฟ้าที่มีความสม่ำเสมอมากกว่า ระบบที่มีแผ่นไดอิเล็กตริกที่มีความหนามาก (รูปที่ 4.6)



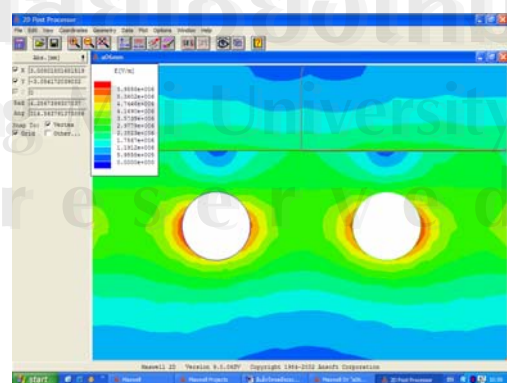
w = 2 มม. ,  $\Delta$  = 0.4 มม.



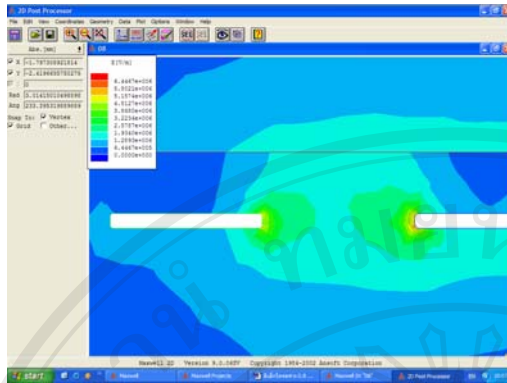
r = 1 มม. ,  $\Delta$  = 0.4 มม.



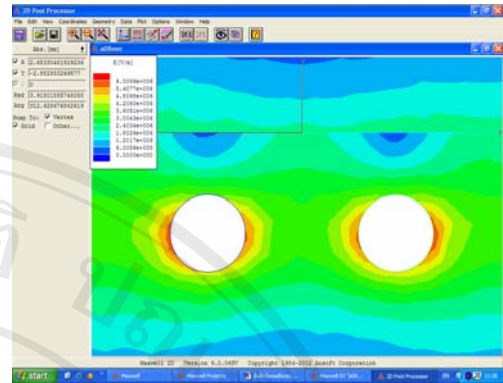
w = 2 มม. ,  $\Delta$  = 0.6 มม.



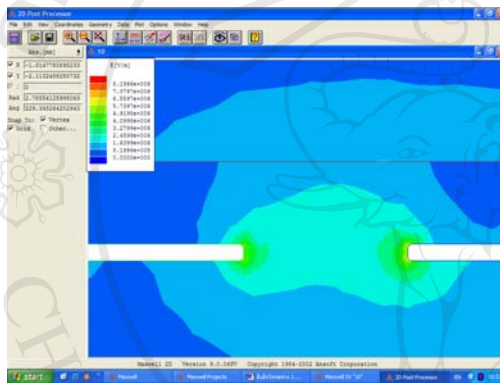
r = 1 มม. ,  $\Delta$  = 0.6 มม.



$w = 2 \text{ มม.}, \Delta = 0.8 \text{ มม.}$



$r = 1 \text{ มม.}, \Delta = 0.8 \text{ มม.}$



$w = 2 \text{ มม.}, \Delta = 1.0 \text{ มม.}$

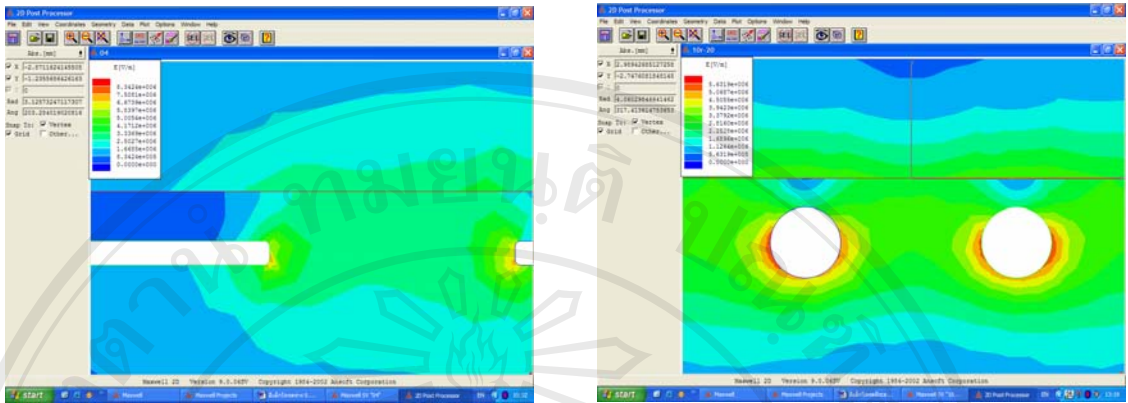


$r = 1 \text{ มม.}, \Delta = 1.0 \text{ มม.}$

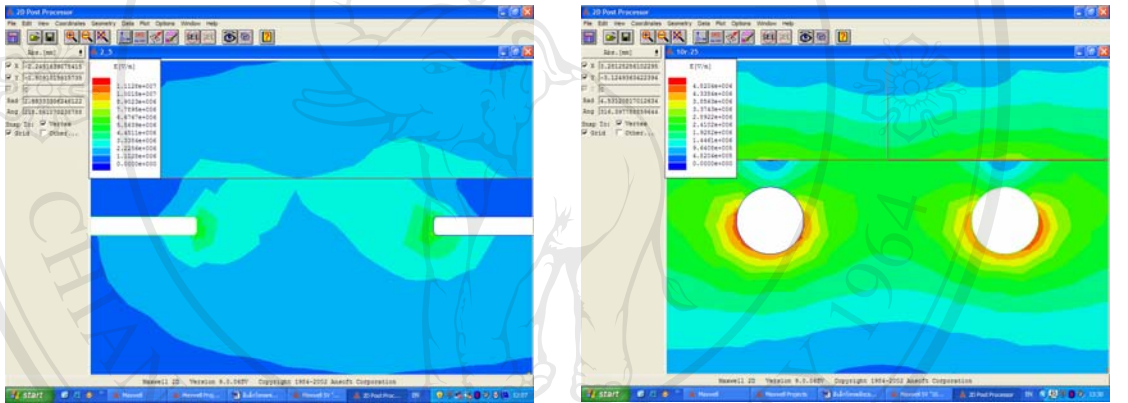
รูปที่ 4.6 การเกิดสนามไฟฟ้าแบบ coplanar discharge เมื่อความหนาของไดอิเล็กตริก ( $\Delta$ ) เพิ่มขึ้น ที่แรงดัน 5 กิโลโวลต์,  $d = 2 \text{ มม.}$

#### 4.2.2 ผลของระยะห่างของอิเล็กโทรดต่อการเกิดสนามไฟฟ้า

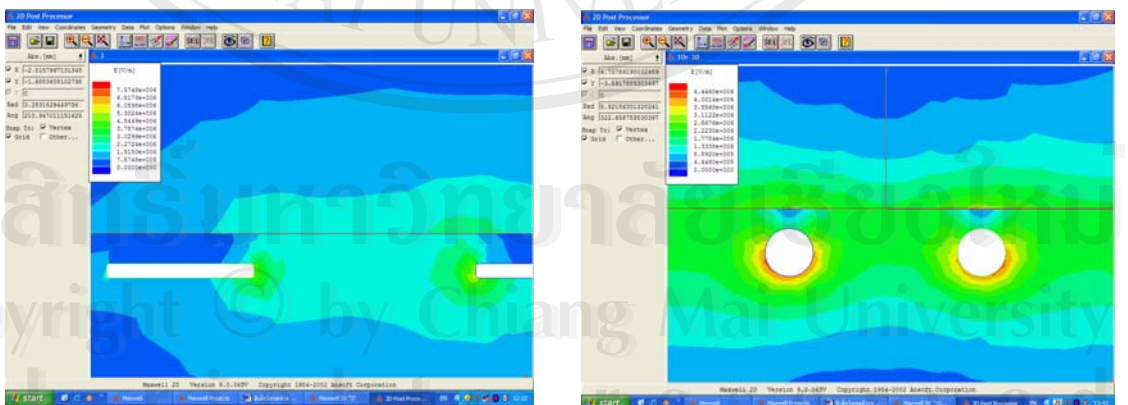
จากผลการจำลองการทดลองการเปลี่ยนแปลงระยะระหว่างของอิเล็กโทรดจะพิจารณาการเกิดสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดทั้งแบบสี่เหลี่ยมและแบบกลมได้ออกแบบโดยให้อิเล็กโทรดแบบสี่เหลี่ยมมีขนาดกว้าง ( $L$ ) 2 มิลลิเมตร หนา ( $w$ ) 0.2 มิลลิเมตร และมีการลบมุมทั้ง 4 มุมขนาดรัศมีมีความโค้ง 0.5 มิลลิเมตร และอิเล็กโทรดแบบกลมจะมีรัศมี ( $r$ ) 1 มิลลิเมตร อิเล็กโทรดทั้งสองแบบถูกจัดวางในลักษณะขนานกันภายในไดอิเล็กตริก (แผ่นอลูมินา) ที่ความหนา ( $\Delta$ ) 0.4 มิลลิเมตร เป็นความหนาที่ทำให้สนามไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอ (รูปที่ 4.6) ทดลองเปลี่ยนระยะความห่างระหว่างอิเล็กโทรดตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 4 มิลลิเมตร พบว่า มีระยะห่าง ( $d$ ) ของอิเล็กโทรด 3 มิลลิเมตร ทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้ามีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุด (รูปที่ 4.7)



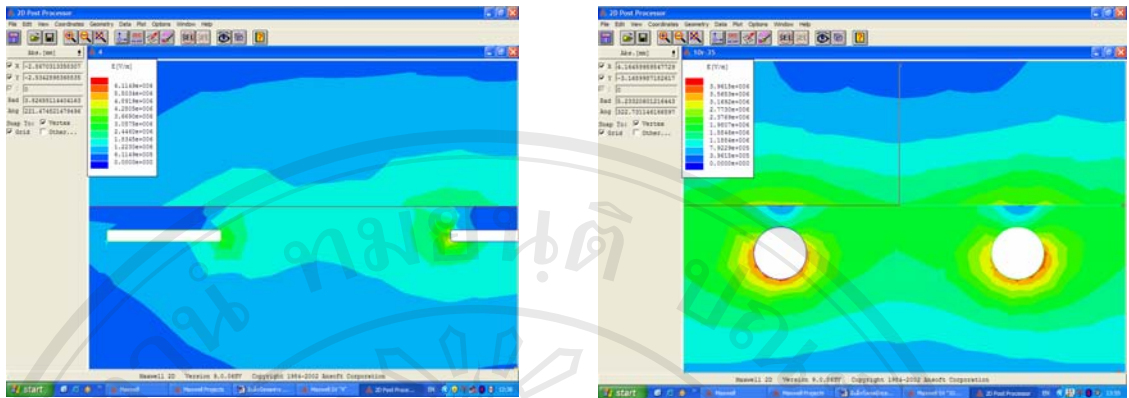
$d = 2.0$  มม.



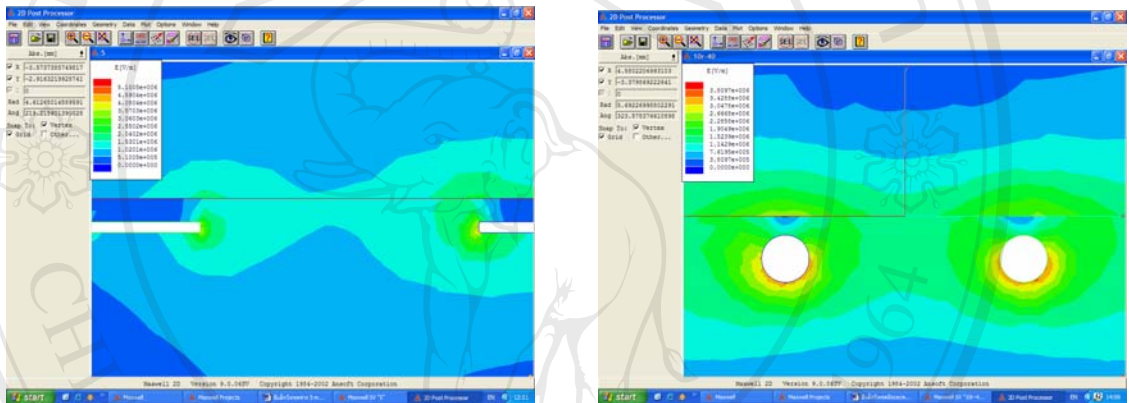
$d = 2.5$  มม.



$d = 3.0$  มม.



$d = 3.5$  มม.

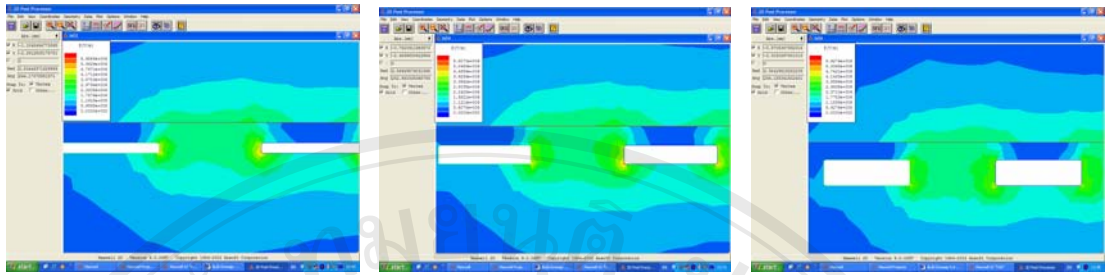


$d = 4.0$  มม.

รูปที่ 4.7 การเกิดสนามไฟฟ้าแบบ coplanar discharge เมื่อระยะห่าง (d) ของ อิเล็กโทรด ต่างกัน ที่แรงดัน 7 กิโลโวลต์,  $\Delta = 0.4$  มม.,  $w = 0.2$  มม.,  $r = 1$  มม.

#### 4.2.3 ผลของขนาดอิเล็กโทรดต่อการเกิดสนามไฟฟ้า

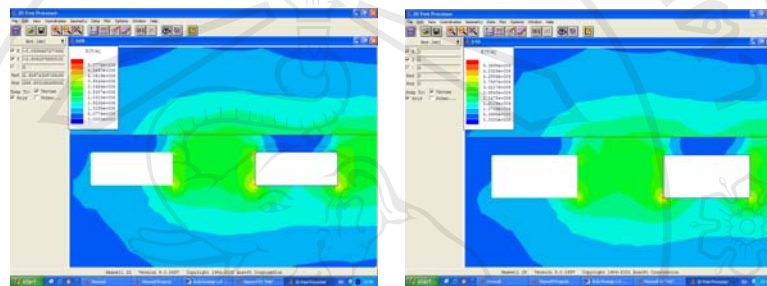
ผลการทดลอง เพื่อหาตัวแปรเกี่ยวกับขนาดของอิเล็กโทรด พบว่า ความกว้าง (L) ของอิเล็กโทรด มีผลต่อการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า ดังนั้น ในตอนนี้ทดลองเพื่อหาขนาดความหนาที่ลดโอกาสการเกิดเบรกดาวน์ โดย ออกแบบอิเล็กโทรดให้มีขนาดความกว้าง 2 มิลลิเมตร ระยะห่าง 2 มิลลิเมตร และมีการลบมุมทั้ง 4 มุมขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีความหนาของไดอิเล็กตริก 0.4 มิลลิเมตร ทดลองเปลี่ยนความหนาของอิเล็กโทรด ตั้งแต่ 0.2 – 1.0 มิลลิเมตร พบว่า ความหนา (w) ของอิเล็กโทรด มีผลต่อความเครียดของสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดภายในไดอิเล็กตริก (รูปที่ 4.8)



w = 0.2 มม.

w = 0.4 มม.

w = 0.6 มม.

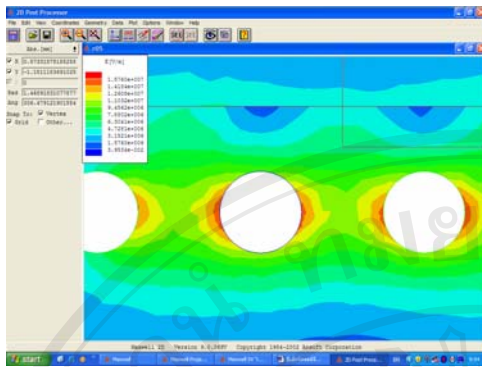


w = 0.8 มม.

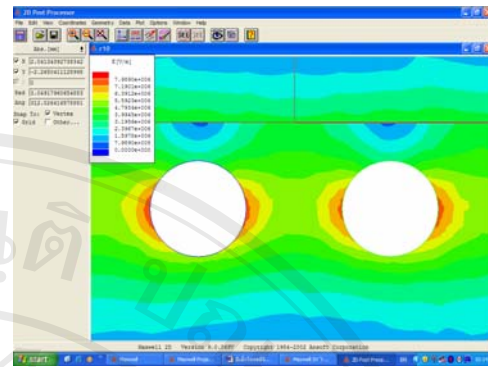
w = 1.0

รูปที่ 4.8 การเกิดสนามไฟฟ้าแบบ coplanar discharge เมื่อความหนา (w) ของอิเล็กโทรดต่างกันให้ แรงดัน 5 กิโลโวลต์,  $\Delta = 0.4$  มม.,  $L = 2.0$  มม.

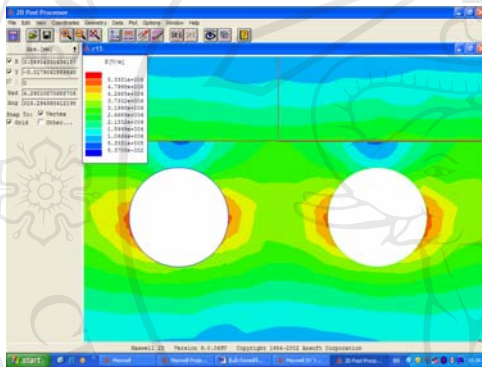
สำหรับอิเล็กโทรดแบบกลม ขนาดของรัศมีที่เปลี่ยนไป จะมีผลต่อความเครียดของสนามไฟฟ้าภายในไดอิเล็กตริก ดังนั้นการกำหนดขนาดรัศมีต้องมีความเหมาะสมกับระยะห่างของอิเล็กโทรด (รูปที่ 4.9)



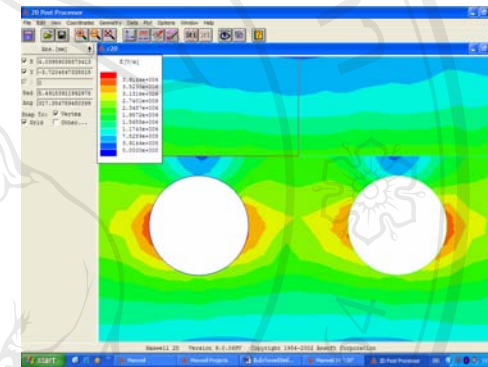
$r = 0.5$  มม.



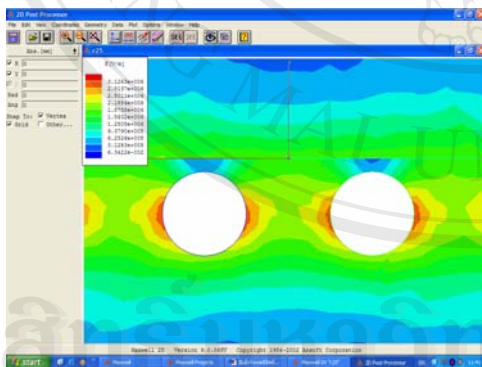
$r = 1.0$  มม.



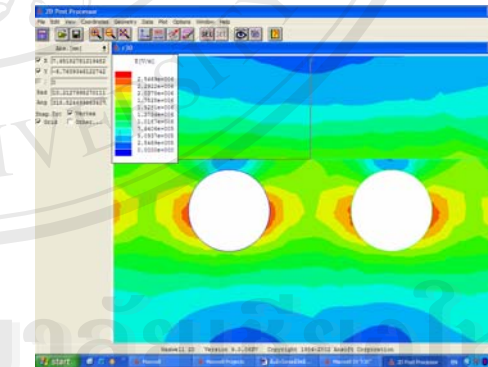
$r = 1.5$  มม.



$r = 2.0$  มม.



$r = 2.5$  มม.

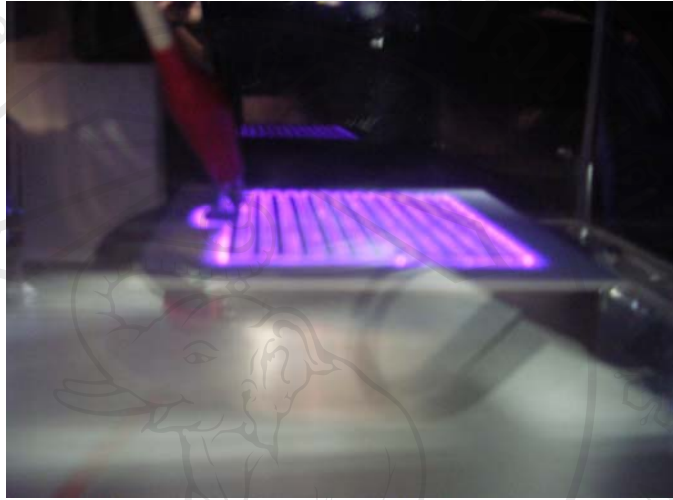


$r = 3.0$  มม.

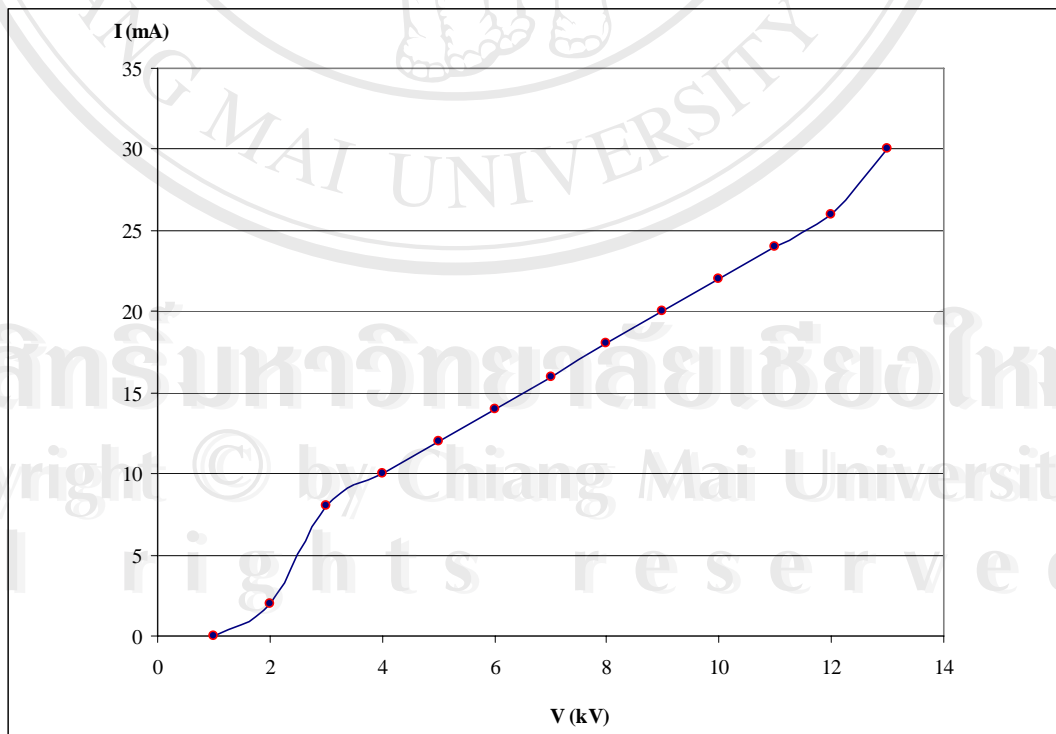
รูปที่ 4.9 การเกิดสนามไฟฟ้าแบบ coplanar discharge เมื่อรัศมี( $r$ ) ของอิเล็กโทรดต่างกัน ที่แรงดัน 5 กิโลโวลต์,  $\Delta = 0.4$  มม.,  $L = 2.0$  มม.

#### 4.3 ผลการทดสอบการปล่อยประจุที่ผิว (Surface discharge)

จากการทดสอบเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับโพลีไดอิเล็กตริก เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 10 – 12 กิโลโวลต์ ที่ความถี่ 5- 5.5 กิโลเฮิรต์ เกิดการเรืองแสงเป็นสีม่วง เกิดเสียงดังขึ้นเล็กน้อย และมีกลิ่นฉุน (รูปที่ 4.10) บันทึกค่าของกระแสไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าแล้วนำมาเขียนกราฟ



รูปที่ 4.10 รูปขณะเกิดการเบรกดาวน์ทำให้เกิดแสงเรืองขึ้นมา



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันในการทดสอบการเบรกดาวน์

จากรูป 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบการปล่อยประจุที่ผิวที่เพิ่มการจ่ายแรงดันที่มากขึ้นเรื่อยๆจนถึง 12 กิโลโวลต์ เมื่อแรงดันไฟถูกจ่ายที่แรงดันต่ำๆ จะมีกระแสพัลส์เริ่มปรากฏขึ้นเป็นสภาพที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เมื่อจ่ายแรงดันไฟเพิ่มขึ้นพัลส์ต่างๆจะหายไปในช่วงเวลาเริ่มต้น กระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่ไม่สม่ำเสมอตามแรงดันที่เพิ่มขึ้น กระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากกลไกแบบทาวเซนต์ หลังจากนั้นจะมีกระแสเพิ่มขึ้นอย่างมากและเกิดประกายข้าม(spark) เกิดขึ้น จนเกิดเบรกควาน้อย่างสมบูรณ์

#### 4.4 ผลการวัดค่าความต้านทานของแผ่นไดอิเล็กตริก

ตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานที่วัดได้จาก High voltage insulator tester

ชนิดของแผ่นอะลูมินา	ทำการวัดครั้งที่				ค่าเฉลี่ย (GΩ)
	1	2	3	4	
แผ่นอะลูมินาที่ผลิตได้	0.04	0.05	0.05	0.04	0.045
แผ่นอะลูมินาที่ใช้	1.10	1.10	1.00	0.98	1.045

จากตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานที่วัดได้ของแผ่นอะลูมินาที่ผลิตได้ มีค่าน้อยกว่าแผ่นอะลูมินาที่ใช้สร้างโหลดไดอิเล็กตริกมากค่าความต้านทานของแผ่นอะลูมินาที่ผลิตได้ ในการทดสอบวัดค่าความต้านทานเมื่อแรงดันทดสอบ 5 กิโลโวลต์ ของแผ่นอะลูมินาที่ผลิตได้ พบว่า ค่าที่วัดจะคงที่ในช่วงเวลาหนึ่งแล้วลดลง ต้องคายประจุก่อนทำการวัดในครั้งต่อไป ในกรณีของแผ่นอะลูมินาที่ใช้สร้างโหลดไดอิเล็กตริก สามารถวัดความต้านทานได้โดยไม่ต้องคายประจุก่อนทำการวัดในครั้งต่อไป