

การเคลื่อนที่ของหยดน้ำจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าบนอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ติดตั้งบนชั้นฉนวนที่มีราคาต่ำ

Water Droplet Movement Induced by Electrical Field on a Cheap Electro-wetting on Dielectric Device

ชัชวาลพงษ์สมบูรณ์¹, กริธาสุขทั้ง¹ วิศวกรักษ์ เวชสถล^{1*}, อติสร เตื่อนครานนท์² และ ถนอม โลมาต²

¹ ห้องวิจัยและปฏิบัติการ Automotive And Alternative energy (AAA)

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กรุงเทพฯ 10140

² ห้องปฏิบัติการนาโนอิเล็กทรอนิกส์และเมมส์ ศูนย์นาโนอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ปทุมธานี 12120

*ผู้ติดต่อ: E-mail: wishsanuruk.wec@kmutt.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 02-470-9275, เบอร์โทรสาร: 02-470-9111

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอกรรมวิธีการสร้างอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำแบบอิเล็กทรอนิกส์ติดตั้งบนชั้นฉนวนด้วยวัสดุที่มีราคาถูก ซึ่งอุปกรณ์นี้จะใช้แรงจากสนามไฟฟ้า อันเกิดจากขั้วไฟฟ้าสองขั้วที่มีประจุต่างกันไป รบกวนสมดุลแรงตึงผิวของหยดน้ำทำให้เกิดการเคลื่อนที่ ด้วยกรรมวิธีนี้ทำให้เราสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของของเหลวได้โดยใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกลไกการเคลื่อนที่ด้วยวิธีอื่น บทความนี้จะได้กล่าวถึงกรรมวิธีในการออกแบบและการประยุกต์ใช้วัสดุที่มีราคาถูก ตลอดจนขั้นตอนในการสร้างอย่างละเอียด โดยแผ่นปรินท์ทองแดงได้ถูกนำมาใช้แทนแพลทินัมในการสร้างขั้วไฟฟ้าด้านล่าง ส่วนชั้นฉนวนคั่นกลางขั้วไฟฟ้าสร้างจากเทปพอลิเอสเตอร์แทนที่การเคลือบสารซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) จากนั้นขั้วไฟฟ้าด้านบนแบบเส้นจะถูกสร้างขึ้นจากเทปทองแดงแทนการสปัตเตอร์ทองคำ สุดท้ายการสร้างชั้นไฮโดรโฟบิกด้วยพลาสติกห่ออาหารเคลือบด้วยน้ำยาเซ็ดกระจกรถยนต์ได้ถูกนำมาใช้แทนที่การเคลือบสารเทฟลอน จากผลการทดสอบอุปกรณ์ได้แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองที่ดีของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำด้วยวัสดุที่ราคาถูก

คำหลัก: อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำแบบอิเล็กทรอนิกส์ติดตั้งบนชั้นฉนวน, แรงสนามไฟฟ้า และหยดน้ำ

Abstract

This research work proposes low-cost fabrication technique of electro-wetting-on-dielectric devices, that use the electrical field created between two electrode plates to disturb the equilibrium of water droplet's surface tension, thus inducing the water droplet movement. This technique uses relatively low electrical energy to move liquid in comparison with other liquid transportation techniques. This work mentions the design methodology and fabrication with common and low cost materials in detail. The copper printed circuit board (PCB) was used in place of platinum to create bottom electrode layer. The dielectric layer was created from polyester tape, instead of using silicon oxide (SiO₂). The top electrode

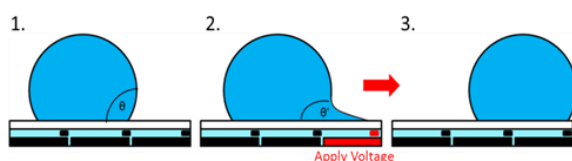
layer was made from copper tape, which is much easier and safer than typical sputtering of gold on top of dielectric layer. The hydrophobic layer was then created from Salan wrap and windshield liquid, instead of coating with Teflon. The test result shows the good response of water droplet movement on top of the created dielectric device.

Keywords: Electro-wetting-on-dielectrics, electrical field and water droplet

1. บทนำ

การควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำขนาดเล็กที่มีปริมาตรของหยดน้ำอยู่ในระดับไมโครลิตรด้วยอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำที่มีชื่อเรียกว่า อิเล็กโตรเว็ตติง (Electrowetting) สามารถทำงานได้โดยอาศัยหลักการของการใช้แรงจากสนามไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำของขั้วไฟฟ้าสองขั้วที่มีประจุไฟฟ้าต่างกัน ไปรบกวนแรงตึงผิวของหยดน้ำด้านที่ถูกรบกวนให้เสียสมดุลโดยการไปลดมุมสัมผัส (Contact angle) ระหว่างผิวของเหลวกับผิวของพื้นราบ จึงส่งผลให้หยดน้ำเกิดการเคลื่อนที่ไหลไปทางด้านที่ถูกรบกวนสมดุล

ปัจจุบันอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในงานวิจัยหลากหลายสาขางานวิจัยตัวอย่างเช่น สาขาเคมี โดยนำไปใช้ในการผสมสารเคมีที่มีปริมาตรน้อยระดับไมโครลิตร [1] สาขาการแพทย์ โดยนำไปใช้ในการวินิจฉัยโรคแบบห้องปฏิบัติการบนชิพ (Lab on a Chip) [2] รวมถึงสาขาวิศวกรรมโดยนำไปประยุกต์ใช้เป็นสายพานขนส่งขนาดเล็ก (Micro Conveyer) [3] เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นสาขางานวิจัยที่มีความสำคัญอย่างมากทั้งสิ้น



รูปที่ 1 การควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำด้วยแรงที่เกิดจากสนามไฟฟ้าจาก 1-3

โดยปกติแล้วในการสร้างอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำจะต้องใช้วัสดุที่มีราคาแพงรวมถึงมีกรรมวิธีการสร้างอุปกรณ์ที่ซับซ้อน จึงทำให้นักศึกษาและผู้สนใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้ไม่มีโอกาสได้เข้าถึงตัวอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำเพื่อศึกษาเทคโนโลยีนี้ได้อย่างทั่วถึงเท่าที่ควร อันเนื่องมาจากข้อจำกัดในเรื่องของงบประมาณ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะได้นำเสนอขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำที่มีราคาต่ำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนการสร้าง ตลอดจนการเลือกวัสดุราคาถูกที่หาได้ทั่วไปนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนวัสดุเดิมที่นิยมใช้กัน เช่น สร้างขั้วขั้วไฟฟ้าด้านล่างจากแผ่นปริ้นท์ทองแดง (Print Circuit Board) แทนที่วัสดุที่มีราคาแพงเช่นแพลตินัม [4] ทองคำ [5] และเงิน [6] การใช้โพลีเอสเตอร์เทป (Polyester Tape) ทดแทนการเคลือบชั้นฉนวนด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide) [7] อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminiumoxide) [8] พาริรีน (Parylene) [9] หรือโพลีไดเมทิลซิลอกเซน (PDMS) [10] การใช้พลาสติกห่ออาหาร (Polyethylene) ซึ่งเคลือบด้วยน้ำยาเซ็ดกระจกรถยนต์สร้างชั้นไฮโดรโฟบิกแทนที่การเคลือบสารเทฟลอน [11]

ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางการลดต้นทุนการผลิตให้นักศึกษาและผู้สนใจ เกี่ยวกับอุปกรณ์การควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าได้ง่ายขึ้น รวมทั้งใช้เป็นสื่อการสอนเพื่อให้เข้าใจถึงหลักการของอุปกรณ์การควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำ ตลอดจนเป็นพื้นฐานในการนำเอาเทคนิคไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของของไหลต่อไป

2. รายละเอียดของกระบวนการสร้างอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำจากวัสดุที่มีราคาต่ำ

2.1 การสร้างชุดขั้วไฟฟ้าด้านล่าง

กระบวนการสร้างชุดขั้วไฟฟ้าด้านล่างเริ่มจากออกแบบและวาดแบบลายขั้วไฟฟ้าในลักษณะเป็นลำดับแถว (Array) โดยให้มีความกว้าง 2 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างแถว 250 ไมโครเมตร จำนวนแถวของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 6×6 แถวตั้งรูปที่ 2 จากนั้นทำการพิมพ์ลายขั้วไฟฟ้าลงบนแผ่นใสเพื่อใช้เป็นแม่แบบในการสร้างลายขั้วไฟฟ้า

เมื่อทำการเตรียมแม่แบบเรียบร้อยแล้วขั้นตอนต่อมาคือการถ่ายแบบลายขั้วไฟฟ้าจากแม่แบบลงบนแผ่นปริ้นท์ทองแดงเพื่อสร้างลายขั้วไฟฟ้า โดยนำแม่แบบมาวางบนแผ่นปริ้นท์ทองแดงแล้วจึงให้ความร้อนบนแม่แบบ จนกระทั่งหมึกจากแม่แบบละลายติดลงบนแผ่นปริ้นท์ทองแดง ซึ่งลายขั้วไฟฟ้าที่ติดบนแผ่นปริ้นท์ทองแดงนี้ จะทำหน้าที่เป็นหน้ากากป้องกันการกัดกร่อนจากน้ำยากัดแผ่นปริ้นท์ทองแดง

ขั้นตอนในการกัดทองแดงส่วนที่ไม่ต้องการออกสามารถทำได้โดยใช้สารเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric Chloride) หรือเรียกอีกอย่างว่าน้ำยากัดแผ่นปริ้นท์มาให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำแผ่นปริ้นท์แช่ลงในน้ำยากัดแผ่นปริ้นท์เป็นเวลาประมาณ 10 นาที แล้วจึงนำชิ้นงานมาทำความสะอาดด้วยน้ำทันทีเพื่อไม่ให้ลายขั้วไฟฟ้าเกิดการกัดกร่อนเพิ่มเติม ถ้าหากปล่อยให้แห้งจะส่งผลให้ขนาดของลายขั้วไฟฟ้าไม่ได้ตามที่ออกแบบไว้ ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำกระดาษทรายละเอียดเบอร์ 1000 ขัดหมึกที่ทำหน้าที่เป็นหน้ากากป้องกันขั้วไฟฟ้าทองแดงออก ก็จะได้ชุดขั้วไฟฟ้าตามที่ได้ออกแบบไว้

2.2 การสร้างชั้นฉนวน (Dielectric)

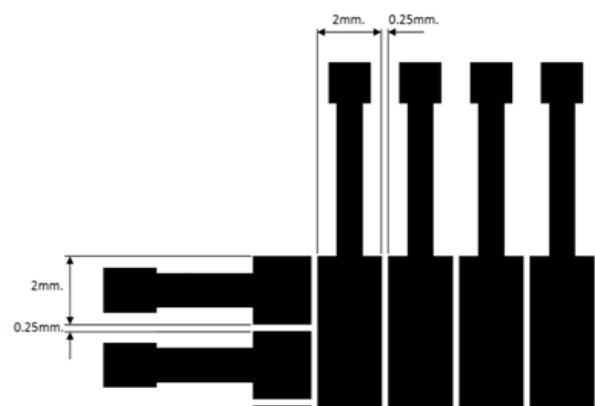
กระบวนการสร้างชั้นฉนวนคั่นกลางระหว่างชุดขั้วไฟฟ้าด้านบนและชุดขั้วไฟฟ้าด้านล่างด้วยโพลีเอสเตอร์เทป (Polyester Tape) ขนาดความหนาเท่ากับ 63 ไมโครเมตร ค่าคงที่ของฉนวน (Dielectric Constant) เท่ากับ 3.2 และมีค่าความสามารถรับ

ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (Dielectric Breakdown) เท่ากับ 5500 โวลต์ เริ่มจากการทำความสะอาดขั้วไฟฟ้าด้วยสารเคมีเมทานอล (Methanol) เพื่อขจัดคราบไขมันและสิ่งสกปรกต่างๆ ที่ติดอยู่จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ออกจากขั้วไฟฟ้า ซึ่งการทำความสะอาดนี้จะช่วยให้โพลีเอสเตอร์เทปนั้นติดบนขั้วไฟฟ้าได้ดีขึ้น จากนั้นจึงทำการติดโพลีเอสเตอร์เทปลงบนขั้วไฟฟ้าโดยไม่ให้มีฟองอากาศอยู่ระหว่างโพลีเอสเตอร์เทปกับขั้วไฟฟ้าเพราะจะทำให้ค่าความเป็นฉนวนมีค่าไม่คงที่ตลอดทั้งระนาบควบคุม

2.3 การสร้างชุดขั้วไฟฟ้าด้านบน

กระบวนการสร้างชุดขั้วไฟฟ้าด้านบนด้วยเทปทองแดงที่มีขนาดความหนาเท่ากับ 40 ไมโครเมตร เริ่มจากตัดเทปทองแดงตัดให้มีความยาวเท่ากับ 3 เซนติเมตร และให้มีความกว้างประมาณ 450-500 ไมโครเมตร หากตัดให้มีขนาดเล็กกว่านี้จะทำให้การยึดติดกับชั้นโพลีเอสเตอร์เทปทำได้ไม่ดีเนื่องจากพื้นที่แถบกาที่ใช้ยึดติดมีน้อยเกินไป

หลังจากตัดเทปทองแดงได้ตามขนาดที่ต้องการแล้วจึงทำการติดลงบนชั้นฉนวนในลักษณะทิศทางตั้งฉากกับชุดขั้วไฟฟ้าด้านล่างดังรูปที่ 3 จากนั้นนำแผ่นอะครีลิคใสกดทับลงบนเทปทองแดงที่ติดลงบนชิ้นงาน เพื่อเป็นการลดความขรุขระบริเวณขอบของรอยตัดและเพิ่มความสม่ำเสมอให้กับชั้นของชุดขั้วไฟฟ้า อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการยึดติดของชั้นชุดขั้วไฟฟ้าด้านบนกับชั้นของโพลีเอสเตอร์เทปอีกด้วย



รูปที่ 2 ลักษณะและขนาดของลายชุดขั้วไฟฟ้าด้านบน

2.4 การสร้างชั้นไฮโดรโฟบิก

กระบวนการสร้างชั้นไฮโดรโฟบิกเพื่อเพิ่มค่ามุมสัมผัส (Contact Angle) ให้กับหยดน้ำบนอุปกรณ์การควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำ เริ่มจากนำแผ่นพลาสติกห่ออาหาร (Polyethylene) ซึ่งมีความหนา 15 ไมโครเมตร มาตัดให้ได้ขนาดพอเหมาะกับชิ้นงาน จากนั้นทำการติดพลาสติกห่ออาหารลงบนชั้นของชุดขั้วไฟฟ้าด้านบน ซึ่งในขั้นตอนการติดพลาสติกห่ออาหารนี้ไม่ควรให้แผ่นพลาสติกห่ออาหารเกิดการยับย่นบนบริเวณชุดขั้วไฟฟ้าที่ใช้เป็นระนาบควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำ เพราะจะทำให้ความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ลดน้อยลง ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทำให้ผิวของแผ่นพลาสติกห่ออาหารมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกโดยใช้น้ำยาเซตกระจกรถยนต์ ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เคลือบบางๆ ลงบนแผ่นพลาสติกห่ออาหารในบริเวณที่ใช้เป็นระนาบควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำ โดยทำการเคลือบแล้วทิ้งไว้ 2 นาที แล้วเช็ดออก ทำซ้ำทั้งหมดอีกเป็นจำนวน 5 รอบ เพื่อให้ผิวของแผ่นพลาสติกห่ออาหารบนพื้นระนาบที่ใช้สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำมีคุณสมบัติความเป็นไฮโดรโฟบิกอย่างสม่ำเสมอและใกล้เคียงกันทุกครั้ง

หลังจากที่ดำเนินกระบวนการสร้างเสร็จทุกขั้นตอนแล้วก็จะได้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำที่มีราคาต่ำตามที่ออกแบบไว้และพร้อมทำการทดสอบดังรูปที่ 4

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำ ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดและควบคุมการจ่ายสัญญาณไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์การควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

3.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า

(Function/Arbitrary Waveform Generator)

ทำหน้าที่ปรับความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 80 เมกะเฮิรตซ์ รวมถึงใช้ปรับค่าแรงดันยอดถึง

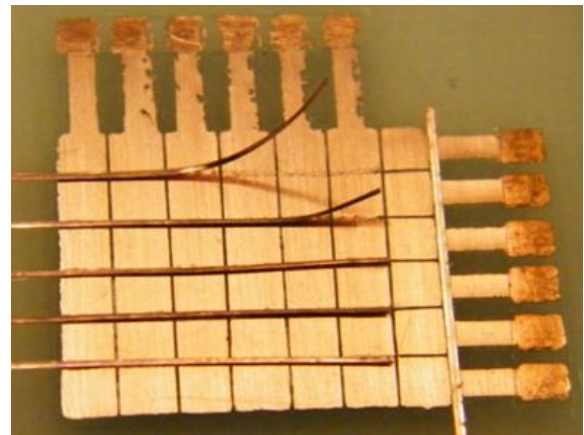
ยอดของสัญญาณไฟฟ้าที่จะส่งต่อไปที่เครื่องขยายกำลังไฟฟ้า

3.2 เครื่องขยายกำลังไฟฟ้า (Power Amplifier)

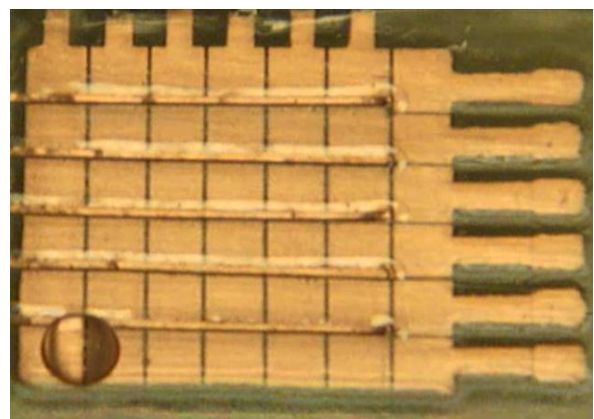
ทำหน้าที่ปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าแบบละเอียดโดยการเปลี่ยนค่ากำลังไฟฟ้า ซึ่งช่วงในการปรับค่าความต่างศักย์แบบละเอียดนี้ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันยอดถึงยอดของสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องสร้างสัญญาณไฟฟ้าด้วย

3.3 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

ทำหน้าที่ปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าแบบหยาบ ซึ่งสามารถปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วงระหว่าง 300 ถึง 1000 โวลต์



รูปที่ 3 ลักษณะการจัดวางตำแหน่งของชุดขั้วไฟฟ้าด้านบนและด้านล่าง



รูปที่ 4 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าบนอุปกรณ์ที่มีราคาต่ำ

3.4 ชุดควบคุมการจ่ายสัญญาณไฟฟ้า(Controller)

โดยชุดควบคุมนี้จะสามารถแบ่งจ่ายค่าสัญญาณไฟฟ้าได้ 25 ช่อง ปรับเปลี่ยนเวลาได้ตั้งแต่ 0.05 ถึง 3 วินาที ความละเอียดของการปรับเพิ่มเวลาครั้งละ 0.05 วินาที

4. การทดสอบอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของ หยดน้ำที่มีราคาต่ำ

การทดสอบการควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าบนอุปกรณ์ที่มีราคาต่ำ เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์กับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของหยดน้ำบนอุปกรณ์ เพื่อให้สามารถทราบถึงความเร็วของการเคลื่อนที่ของหยดน้ำที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่างกัน โดยขั้นตอนในการทดสอบสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

4.1 การตั้งค่าสัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำที่มีราคาต่ำ

การตั้งค่าสัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำที่มีราคาต่ำเริ่มจากการต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันตามแผนภาพในรูปที่ 5 จากนั้นจึงปรับค่าความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าไปที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ โดยใช้เครื่องสร้างสัญญาณไฟฟ้าและปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ 500 - 800 โวลต์ โดยใช้เครื่องขยายกำลังไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าควบคู่กัน

4.2 การเก็บผลการทดสอบ

การเก็บผลการทดสอบนี้จะเริ่มจากการเตรียมหยดน้ำปริมาตร 5 ไมโครลิตร บนอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำ จากนั้นปรับให้ชุดควบคุมการจ่ายสัญญาณไฟฟ้าจ่ายสัญญาณให้แต่ละขั้วเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำเป็นเวลา 3 วินาที ก่อนแล้วจึงตรวจสอบดูการเคลื่อนที่ของหยดน้ำว่าสามารถเคลื่อนที่ได้หรือไม่ หากหยดน้ำยังสามารถเคลื่อนที่ได้ดี ให้ทำการปรับลดระยะเวลาที่จ่ายไฟฟ้าให้แก่แต่ละขั้วลงเรื่อยๆ เพื่อหาระยะเวลาในการจ่ายไฟฟ้าให้แก่ขั้วไฟฟ้าแต่ละขั้วที่สามารถทำให้หยดน้ำเคลื่อนที่ได้ให้น้อยที่สุด เมื่อทดสอบเสร็จแล้วจึง

ปรับเปลี่ยนเป็นค่าความต่างศักย์ที่ละ 100 โวลต์ โดยในการวิจัยครั้งนี้จะทำการทดสอบในช่วงตั้งแต่ 500 – 800 โวลต์ จากนั้นนำระยะเวลาในการจ่ายไฟฟ้าที่น้อยที่สุด มาคำนวณหาความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของหยดน้ำจากสมการ

$$V_{\max} = S/t_{\min} \quad (1)$$

เมื่อ $V_{\max}$ คือ ความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของหยดน้ำ

S คือ ขนาดของขั้วไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 2 mm.

$t_{\min}$ คือ ระยะเวลาน้อยที่สุดในการจ่ายสัญญาณไฟฟ้าให้แก่ขั้วไฟฟ้าแต่ละขั้วที่สามารถทำให้หยดน้ำเคลื่อนที่

5. ผลการทดสอบอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ ของหยดน้ำที่มีราคาต่ำ

จากการทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของหยดน้ำ โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วงของความต่างศักย์ 500, 600, 700 และ 800 โวลต์ จะพบว่าที่ค่าความต่างศักย์สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของหยดน้ำยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นไปตามกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 6 และยังพบอีกว่าอุปกรณ์จะเสียหายเมื่อป้อนค่าความต่างศักย์เกิน 1,100 โวลต์

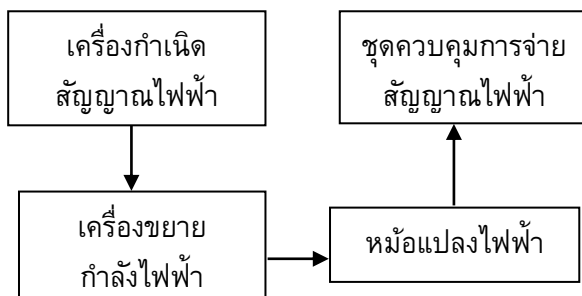
6.สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

กรรมวิธีการสร้างอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำด้วยจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าโดยมีชุดขั้วไฟฟ้าในลักษณะเป็นลำดับแถว (Array) ซึ่งใช้วัสดุที่มีราคาต่ำทดแทนการใช้วัสดุราคาแพงที่มีการใช้อยู่เดิมสามารถทำได้ โดยใช้แผ่นปริ้นท์และเทปทองแดงทดแทนการใช้เพลทินัมและทองคำ ใช้โพลีเอสเตอร์เทปทดแทนซิลิกอนไดออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์และพาริรีน ตลอดจนใช้แผ่นพลาสติกห่ออาหารและน้ำยาขัดกระจกทดแทนที่ใช้สารเทฟลอน อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำที่สร้างขึ้นนี้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำปริมาตร 5 ไมโครลิตรได้เป็นอย่างดี และจากการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มี

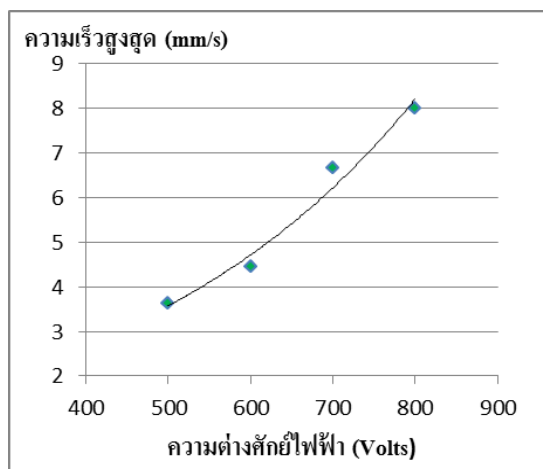
ผลต่อค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของหยดน้ำในช่วงของความต่างศักย์ 500,600,700 และ 800 โวลต์ตามลำดับ จะพบว่าถ้าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเร็วสูงสุดการเคลื่อนที่ของหยดน้ำยังมีค่ายิ่งสูงขึ้นไปด้วย และถ้ามีการเพิ่มความต่างศักย์มากเกินไป 1100 โวลต์อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำจะเกิดความเสียหาย

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ จากห้องปฏิบัติการนาโนอิเล็กทรอนิกส์และเมมส์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับค่าความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของหยดน้ำ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Paik, P., Pamula, V.K., Pollack, M.G. and Fair, R.B., Electrowetting-based droplet mixers for microfluidic systems, *Lab on a Chip*, Vol. 3, February 2003, pp. 28 – 33.
- [2] Srinivasan, V., Pamula, V.K. and Fair, R.B., Droplet-based microfluidic lab-on-a-chip for glucose detection, *Analytica Chimica Acta* 507, December 2003, pp. 145 – 150.
- [3] Moon, I., Kim, J., Using EWOD (electrowetting – on - dielectric) actuation in a micro conveyor system, *Sensor and Actuators A* 130-131, March 2006, pp. 537 – 544.
- [4] Yun, K.S., Cho, I.J., Bu, J.U., Kim, C.J. and Yoon, E., A Surface-Tension Driven Micropump for Low-Voltage and Low-Power Operations, *JMEMS*, Vol. 11, NO. 5, October 2002, pp. 454 - 461.
- [5] Roux, J.M., Fouillet, Y. and Achard, J.L., 3D droplet displacement in microfluidic systems by electrostatic actuation, *Sensors and Actuators*, Vol. 13, June 2006, pp. 486 - 493.
- [6] กริธาสุขทั้ง, วิศนุรักษ์เวชสถล และ อติสรเตือนตรานนท์ (2552). การออกแบบและการลดต้นทุนของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหยดน้ำโดยใช้สนามไฟฟ้า, *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น*
- [7] Chang, J.H., Choi, D.Y., Han, S. and Pak, J.J., Driving characteristics of the electrowetting - on - dielectric device using atomic-layer - deposited aluminum oxide as the dielectric, *Microfluid Nanofluid*, Vol. 8, November 2009, pp. 269-273
- [8] Walker, S.W. and Shapiro, B., Modeling the Fluid Dynamics of Electrowetting on Dielectric (EWOD), *JMEMS*, VOL. 15, NO. 4, August 2006, pp. 986 - 1000.

- [9] Pollack, M.G., Fair, R.B. and Shenderov, A.D., Electrowetting-based actuation of liquid droplets for microfluidic applications, *APPLIED PHYSICS LETTERS*, Vol. 77, NO. 11, September 2000, pp. 1725 - 1726.
- [10] Kuo, J.S., Spicar-Mihalic, P., Rodriguez, I. and Chiu, D.T., Electrowetting-induced droplet movement in an immiscible medium, *Langmuir*, Vol. 19, October 2002, pp. 250 – 255.
- [11] Abdelgawad, M. and Wheeler, A.R., Low-cost, rapid-prototyping of digital microfluidics devices, *Microfluid Nanofluid*, Vol. 4, July 2007, pp. 349 - 355