

กระบวนการผลิตโครงสร้างคานสองชั้นแบบลอยตัวระหว่างนิตินอลกับทองแดงสำหรับ แอกชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูป

Fabrication Process of Free Standing Bimorph Nitinol – Copper Structure for Shape Memory Alloy Actuator

เอกยุทธ ว่องวีระยุทธ์, อลงกรณ์ พิมพ์พิณ* และ วีระยุทธ ศรีรัฐระวานิช

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*ผู้ติดต่อ: alongkorn.p@chula.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 02-218-6647, เบอร์โทรสาร 02-252-2889

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแอกชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูป ซึ่งมีลักษณะเป็นโครงสร้างคานสองชั้นที่ประกอบด้วย นิตินอลและทองแดง โดยกระบวนการผลิตประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ กระบวนการสร้างโครงสร้างทองแดง แบบลอยตัวด้วยการเปลี่ยนแปลงความหยาบของพื้นผิวฐานรอง และการเคลือบผิวด้านบนของโครงสร้างด้วย นิตินอลพร้อมทั้งเปลี่ยนโครงสร้างด้วยการอบที่อุณหภูมิสูง การออกแบบขนาดของแอกชูเอเตอร์ในงานวิจัยนี้ใช้ โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS เพื่อศึกษาผลกระทบกระดกของแอกชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปนี้หลังจากให้ความร้อน จากการศึกษาพบว่าหากสร้างแอกชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปที่มีความยาวมากและความหนาของ ชั้นทองแดงน้อย จะทำให้มีผลกระทบกระดกมาก ในขณะที่ความกว้างของคานไม่มีผลต่อระยะกระดกมากนัก หลังจากนั้นจึงทดลองสร้างแอกชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปด้วยวิธีการที่นำเสนอ จากการทดลองพบว่า สามารถสร้างโครงสร้างทองแดงลอยตัวได้บางสุดประมาณ 100 μm ด้วยความหยาบของผิวของฐานรอง 0.1 μm และเมื่อนำแอกชูเอเตอร์ที่สร้างมาทดสอบ พบว่าแอกชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปมีระยะกระดกค่อนข้างสูง โดยที่แอกชูเอเตอร์ที่ทำการอบที่อุณหภูมิสูงซึ่งแสดง shape memory effect จะมีระยะกระดกมากกว่าแอกชูเอเตอร์ ที่ไม่ได้ทำการอบซึ่งแสดงเฉพาะ thermal effect ประมาณ 5 เท่า

คำสำคัญ: แอกชูเอเตอร์, โลหะผสมจำรูป, โครงสร้างแบบลอยตัว, นิตินอล

Abstract

This work has developed a new fabrication process of a shape memory alloy actuator whose structure is a bimorph cantilever beam between two materials, i.e. Nitinol and Copper. This fabrication process consists of two main parts, i.e. construction of a free standing structure of Copper with a modification of substrate's roughness, and deposition of Nitinol film on the structure with a heat treatment. The deflection of shape memory alloy actuator has been approximated using a Finite Element program (ANSYS). The results show that, with longer beam and thinner Copper structure, the actuator will have larger deflection. On the other hand, the effect of beam width on the deflection is relatively small. After that, the fabrication using the purposed methodology has been employed. The thinnest copper structure is about 100 μm with

the modified roughness of the substrate equal to 0.1 μm . In the experiment, the fabricated shape memory alloy actuator shows a large deflection. The actuator with annealing, whose deflection is influenced by shape memory effect, shows five times deflection larger than that without annealing, whose deflection is only influenced by thermal effect.

Keywords: Actuator, Shape memory alloy, Free standing, Nitinol

1. บทนำ

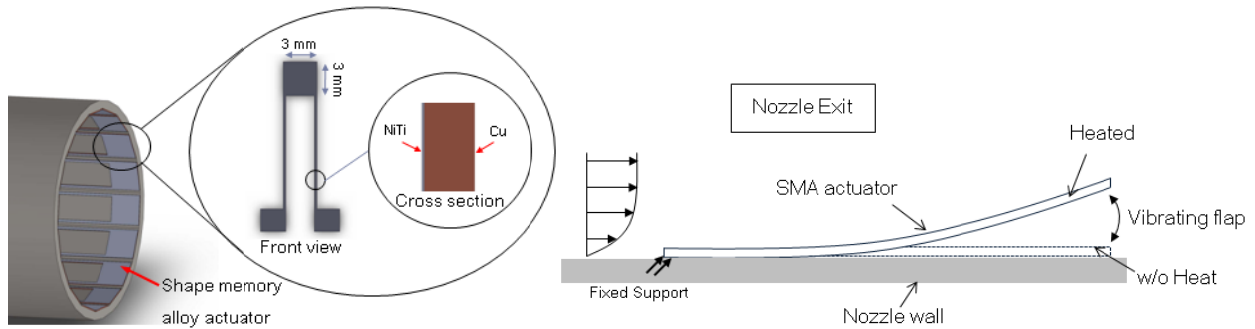
ปัจจุบันเทคโนโลยีระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (Micro Electro-Mechanical System, MEMS) เข้ามามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีด้านต่างๆ เนื่องจากระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาคเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กที่มีความไวในการตอบสนองสูง ใช้พลังงานน้อย และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ โดยมีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายด้าน เช่น หุ่นยนต์ของเครื่องพิมพ์ เซนเซอร์วัดแรงเฉื่อย รวมทั้งเซนเซอร์สำหรับระบบถุงลมหายใจในอุตสาหกรรมรถยนต์ [1] เป็นต้น

อุปกรณ์ MEMS ชนิดหนึ่งคือ แอคชูเอเตอร์ซึ่งถูกประยุกต์ใช้งานหลายอย่างทางวิศวกรรม [2-6] โดยหนึ่งในงานวิศวกรรมที่น่าสนใจคือการใช้งานแอคชูเอเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ในงานลักษณะนี้มีไมโครแอคชูเอเตอร์หลากหลายหลักการที่ถูกนำมาใช้เพื่อการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้ เช่น หลักการ Electromagnetic [4], Acoustic [5] และ Piezoelectric [6] อย่างไรก็ตามหลักการที่นำมาประยุกต์ใช้นั้นยังมีข้อจำกัดในหลายด้าน ตัวอย่างข้อจำกัดของหลักการ Electromagnetic คือต้องมีการติดตั้งแท่งแม่เหล็กลงไปทำให้ไม่สามารถสร้างอุปกรณ์ให้มีขนาดเล็กได้ นอกจากนี้อุณหภูมิสูงระหว่างการใช้งานอาจจะมีผลทำให้คุณภาพของแม่เหล็กเสื่อมลงไป สำหรับหลักการ Acoustic จะควบคุมการกระตุ้นไปยังตำแหน่งของการไหลใดๆ ก่อนข้างลำบาก ในขณะที่หลักการ Piezoelectric จะต้องใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงมาก ดังนั้นจึง

จำเป็นต้องศึกษาหลักการของแอคชูเอเตอร์แบบอื่นๆ ซึ่งอาจจะมีเหมาะสมมากกว่า

หลักการแบบโลหะผสมจำรูปเป็นรูปแบบหนึ่งในหลาย ๆ หลักการของแอคชูเอเตอร์ โดยที่โลหะผสมจำรูปเป็นวัสดุที่มีการเปลี่ยนโครงสร้างได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุ โดยที่อุณหภูมิต่ำเฟสของวัสดุจะเป็น Martensile มีค่า Young's modulus และความเค้นในวัสดุค่อนข้างต่ำ ซึ่งทำให้วัสดุมีลักษณะอ่อนนุ่มและเหนียวสามารถออกแรงกระทำให้บิดงอเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ง่าย และหากวัสดุถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีการเปลี่ยนเฟสเป็น Austenite วัสดุจะมีความแข็งแรงมากขึ้นโดยจะมีค่า Young's modulus และความเค้นในวัสดุเพิ่มขึ้น [7]

แนวคิดหนึ่งของการใช้งานแอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปในงานเผาไหม้คือ การติดตั้งบริเวณรอบปากทางออกด้านในของนอสเซิล ตามที่แสดงในรูปที่ 1 แอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปนี้อาจจะมีความเหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์กับงานที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ เนื่องจากวัสดุโลหะผสมจำรูปบางชนิดสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1,200 $^{\circ}\text{C}$ มีขนาดเล็กเนื่องจากไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมจำนวนมาก โครงสร้างไม่ซับซ้อนทำให้สะดวกต่อการประกอบอุปกรณ์และการควบคุมในการใช้งานทำได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามวัสดุโลหะผสมจำรูปก็มีข้อเสียบางอย่าง เช่น ประสิทธิภาพทางด้านพลังงานต่ำ (<10%) เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ต้องเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปของความร้อนเพื่อใช้ในการเปลี่ยนเฟสของวัสดุ ความไวในการตอบสนองต่ำ และพฤติกรรมของวัสดุไม่เป็นเชิงเส้น



รูปที่ 1 ลักษณะการใช้งานไมโครแอกชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปติดตั้งภายในท่อทางออก โดยแอกชูเอเตอร์มีโครงสร้างแบบคานที่มีวัสดุสองชนิดซ้อนทับกัน เมื่อแอกชูเอเตอร์ทำงานจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเจ็ตได้

อย่างไรก็ตามวัสดุโลหะผสมจำรูปก็ยังมีข้อดีกว่าหลักการอื่นคือ อัตราส่วนระหว่างกำลังงานต่อน้ำหนักอยู่ในระดับสูง [8] จึงทำให้วัสดุโลหะผสมจำรูปเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานที่ต้องการแอกชูเอเตอร์ขนาดเล็กแต่มีกำลังงานสูง

วัสดุและวิธีการสร้างแอกชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปมีหลายรูปแบบ โดยวัสดุที่มีการใช้งานกันแพร่หลายคือ วัสดุโลหะผสมระหว่างนิกเกิลและไททาเนียมหรือเรียกว่า "นิกินอล" เนื่องจากนิกินอลมีคุณสมบัติการทำงานที่ไม่สูงนัก และมีความต้านทานทางไฟฟ้าที่สูงทำให้กำเนิดความร้อนเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านได้ นิกินอลจึงเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการสร้างไมโครแอกชูเอเตอร์ เพราะไม่จำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์กำเนิดความร้อนภายนอกซึ่งทำให้ขนาดของแอกชูเอเตอร์กะทัดรัด

ตามปกติรูปแบบของแอกชูเอเตอร์จะเป็นโครงสร้างแบบ bimorph ระหว่างโลหะผสมจำรูปและวัสดุอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ทองแดง โดยการสร้างชิ้นงานจะเป็นกระบวนการสร้างฟิล์มของวัสดุและวัสดุโลหะผสมจำรูปซ้อนทับกันบนแผ่นซิลิกอน โดยในขั้นตอนสุดท้ายโครงสร้างดังกล่าวจะถูกทำให้หลุดเป็นอิสระจากแผ่นซิลิกอนด้วยวิธีการที่หลากหลาย เช่น การกัดวัสดุที่ร่องด้านล่างของโครงสร้างแอกชูเอเตอร์ออก การขัดด้วยหลักการทางกล เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวจะสร้างปัญหาในการผลิตหลายอย่าง เช่น ต้องออกแบบชั้นของวัสดุเพื่อป้องกันโครงสร้างของแอกชูเอเตอร์ ทำให้กระบวนการผลิตมีความซับซ้อน เป็นต้น

ดังนั้นการสร้างแอกชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปด้วยวิธีการแบบใหม่จึงอาจเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้การผลิตได้ง่ายขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอกระบวนการผลิตแบบใหม่ที่ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ กระบวนการสร้างโครงสร้างทองแดงแบบลอยตัว (free standing) ก่อน แล้วหลังจากนั้นจึงทำการเคลือบผิวด้านบนของโครงสร้างด้วยนิกินอล โดยการสร้างโครงสร้างแบบลอยตัวเป็นเทคนิคเฉพาะที่อาศัยการขัดผิวแผ่นสแตนเลสเพื่อลดความหยาบแล้วจึงทำการ electroplating โลหะที่ต้องการบนแผ่นสแตนเลส ซึ่งหลังจากกระบวนการดังกล่าวโลหะนั้นจะหลุดออกจากแผ่นสแตนเลสเอง [9]

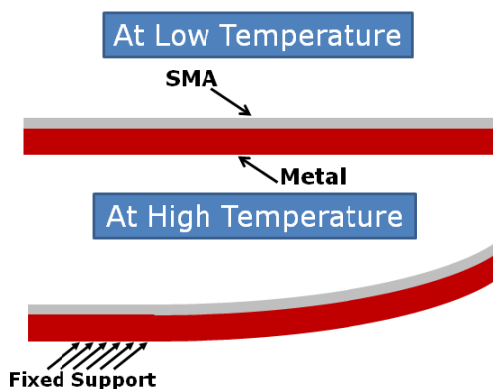
วิธีการดังกล่าวจะลดความซับซ้อนจากการสร้างโครงสร้างทองแดงบนแผ่นซิลิกอนลง นอกจากนั้นกระบวนการ electroplating ยังมีอัตราการเคลือบผิวเร็วกว่าวิธีการอื่น ซึ่งอัตราการเคลือบโลหะ เช่น ทองแดงอยู่ที่ระดับประมาณ 10 นาโนเมตร/วินาที ในขณะที่วิธีการ sputtering อยู่ที่ระดับประมาณ 0.5 นาโนเมตร/วินาที รวมทั้งกระบวนการ electroplating ยังมีต้นทุนต่ำกว่าด้วย

ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอกระบวนการสร้างไมโครแอกชูเอเตอร์แบบใหม่ของแอกชูเอเตอร์ชนิดโลหะผสมจำรูปซึ่งประกอบด้วยนิกินอลและทองแดง รวมทั้งนำเสนอผลของการศึกษาผลของพารามิเตอร์ ได้แก่ ความยาว ความกว้าง และความหนาของแอกชูเอเตอร์ต่อระยะกระดก เมื่อทำการควบคุมอุณหภูมิของแอกชูเอเตอร์ให้เปลี่ยนแปลงไป

2. การออกแบบแอคชูเอเตอร์

แอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปประกอบด้วยวัสดุสองชนิดที่แตกต่างกัน ถูกนำมาประกบกันให้เป็นโครงสร้างคานสองชั้น ในการศึกษานี้ใช้นิทินอลและทองแดง เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสของเนื้อวัสดุและจะทำให้โครงสร้างคานสองชั้นดังกล่าวเกิดการโก่งตัวขึ้นดังรูปที่ 2 ซึ่งแสดงถึงลักษณะการโก่งตัวของแอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปที่มีลักษณะโครงสร้างคานสองชั้น เมื่อทำการยึดปลายด้านหนึ่งของแอคชูเอเตอร์ไว้ และทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้ปลายอีกข้างหนึ่งเกิดการโก่งตัว เนื่องจากวัสดุทั้งสองขยายตัวไม่เท่ากันโดยที่นิทินอลจะหดตัวในขณะที่ทองแดงจะขยายตัว

ในงานวิจัยนี้ได้มีการทำนายระยะการกระดกของแอคชูเอเตอร์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS โดยใช้โหมด Static structure ในการคำนวณเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของนิทินอล (Ni : Ti = 1:1) จาก 25 °C เป็น 80 °C สำหรับรายละเอียดของวิธีการวิเคราะห์สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากงานวิจัยของกฤษกรณ์และคณะ [10] ซึ่งเป็นการทำนายการกระดกของแอคชูเอเตอร์อย่างง่าย โดยที่มีรูปร่างของแอคชูเอเตอร์ก่อนการทำงานมีลักษณะแบบแบนราบ

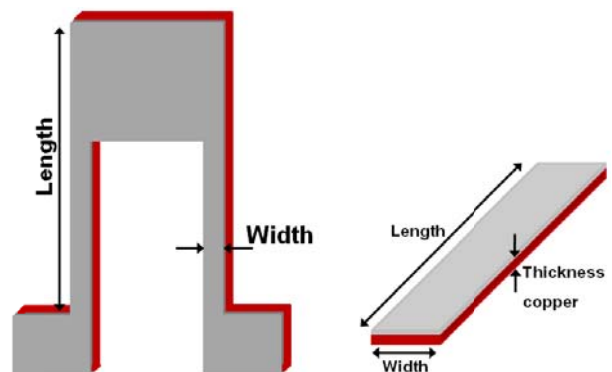


ในการศึกษานี้แบ่งการศึกษาเป็น 2 พารามิเตอร์ต่อระยะกระดกของคานคือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าของความกว้างของคานร่วมกับความหนาของทองแดง และ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของคานร่วมกับความหนาของทองแดง

2.1 ผลของความกว้างของคานและความหนาของทองแดง

ในการศึกษานี้มีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของคาน 4 ค่าคือ 250, 500, 750 และ 1,000 μm ในขณะที่เปลี่ยนแปลงความหนาของทองแดงเป็น 75, 100, 125 μm โดยมีความยาวคงที่เท่ากับ 12.5 mm และความหนาของนิทินอลคงที่เท่ากับ 5 μm ซึ่งผลของการศึกษาได้แสดงไว้ในรูปที่ 3

จากการศึกษา เมื่อความกว้างของคานมีค่ามากขึ้น ระยะการโก่งตัวของแอคชูเอเตอร์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของทองแดงโดยที่ไม่เปลี่ยนแปลงความกว้างของคานจะเห็นได้ว่า กรณีที่มีความหนาของทองแดงน้อยกว่าจะทำให้การโก่งตัวของแอคชูเอเตอร์มีค่าสูงกว่ากรณีที่มียองแดงหนากว่า โดยเมื่อความหนาทองแดงมากขึ้นประมาณ 30% ทำให้ระยะกระดกของแอคชูเอเตอร์ลดลงเกือบ 50%

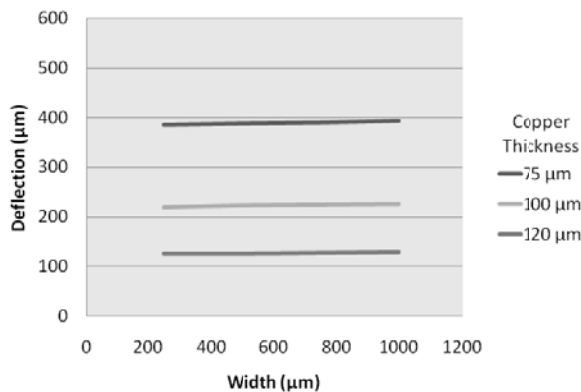


รูปที่ 2 ลักษณะการโก่งตัวของโครงสร้างคานสองชั้นซึ่งประกอบด้วยนิทินอลและทองแดงซ้อนทับกัน

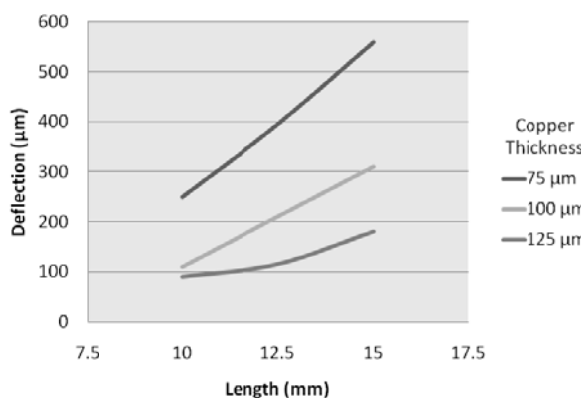
2.2 ผลของความยาวของคานและความหนาของ ทองแดง

ในการศึกษานี้มีการเปลี่ยนแปลงความยาวของคาน 3 ค่าคือ 10, 12.5 และ 15 mm ในขณะที่เปลี่ยนแปลงความหนาของทองแดงเป็น 75, 100, 125 μm โดยมีความกว้างคงที่เท่ากับ 500 μm และความหนาของนิกินอลคงที่เท่ากับ 5 μm ซึ่งผลของการศึกษาได้แสดงไว้ในรูปที่ 4

เมื่อความยาวของคานของแอคซิวเอเตอร์มีค่ามากขึ้นและความหนาของทองแดงน้อยลง จะทำให้มีการโก่งตัวมากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 3 ระยะการกระดกของแอคซิวเอเตอร์เมื่อทำการเปลี่ยนความกว้างของคานร่วมกับความหนาของทองแดง



รูปที่ 4 ระยะการกระดกของแอคซิวเอเตอร์เมื่อทำการเปลี่ยนความยาวของคานร่วมกับความหนาของทองแดง

จากผลของการศึกษาจึงสรุปได้ว่า ผลของความกว้างของแอคซิวเอเตอร์มีผลต่อการกระดกค่อนข้างน้อย ในขณะที่ผลของความยาวของแอคซิวเอเตอร์และความหนาของชั้นทองแดงจะส่งผลกระทบต่อระยะกระดก

ค่อนข้างมาก จากข้อสรุปดังกล่าวทำให้มีแนวคิดในการสร้างแอคซิวเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปที่มีขนาดเล็กที่สุด ที่มีขนาดความกว้าง 250 μm ทองแดงมีความหนา 100 μm และนิกินอลที่มีความหนา 5 μm เพราะในการศึกษาด้วยแบบจำลองให้ระยะกระดกสูงสุด

3. กระบวนการผลิตแอคซิวเอเตอร์

ในงานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการสร้างแบบใหม่ซึ่งไม่ใช่แผ่นซิลิกอนในกระบวนการผลิต สำหรับกระบวนการสร้างประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ กระบวนการสร้างโครงสร้างทองแดงแบบลอยตัว (Free standing) และการเคลือบผิวด้านบนของโครงสร้างด้วยนิกินอล โดยขั้นตอนการสร้างได้สรุปดังรูปที่ 5

3.1 กระบวนการสร้างโครงสร้างทองแดงแบบลอยตัว

ขั้นตอนแรกเป็นการกัดผิว โดยนำแผ่นสแตนเลสไปกัดด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 2000 ทำให้มีค่าความขรุขระของพื้นผิวสแตนเลสเท่ากับ 0.1 μm หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยแผ่นฟิล์มโพโตรีซิสแบบ Negative ที่อุณหภูมิ 90 $^{\circ}\text{C}$ ด้วยเครื่องรีดฟิล์มไวแสง แล้วจึงนำแผ่นแบบ (mask) ที่มีลวดลายของแอคซิวเอเตอร์มาติดลงบนฟิล์มโพโตรีซิส หลังจากนั้นจึงนำแผ่นสแตนเลสที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวมาทำการฉายแสงยูวีเป็นเวลา 20 วินาที แล้วจึงนำไปจุ่มในสารละลาย Na_2CO_3 ทำให้ได้แบบของแอคซิวเอเตอร์ออกมา หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 7 นาทีเพื่อระเหยน้ำที่ติดอยู่บนชิ้นงานออก ขั้นตอนต่อไปเป็นการเคลือบผิวทองแดงบนแผ่นสแตนเลสด้วยกระบวนการ electroplating โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (Current density) เท่ากับ 18.51 mA/cm^2 และมีอัตราการเคลือบผิว (Deposition rate) เท่ากับ 33.33 $\mu\text{m}/\text{hr}$ ซึ่งในการศึกษานี้จะสร้างฟิล์มให้ได้ความหนาประมาณ 100 μm หลังจากนั้นจึงนำไปจุ่มในสารละลาย NaOH ทำให้ได้โครงสร้างทองแดงแบบลอยตัวหลุดออกมา

จากการศึกษาพบว่ากระบวนการที่กล่าวมามีข้อจำกัดคือ หากเคลือบผิวทองแดงบนแผ่นสแตนเลสด้วยความบางน้อยกว่า 100 μm เมื่อนำไปจุ่มในสารละลาย NaOH โครงสร้างทองแดงลอยตัวจะไม่หลุดออกมา และหากออกแรงแกะโครงสร้างทองแดงจะทำให้โครงสร้างทองแดงเสียหายได้ สำหรับความกว้างของโครงสร้างที่แคบที่สุดที่สามารถสร้างได้มีค่าประมาณ 250 μm หากสร้างโครงสร้างทองแดงที่มีความกว้างแคบกว่า 250 μm จะทำให้โครงสร้างทองแดงไม่แข็งแรงและหักระหว่างการผลิตได้นอกจากนั้นหากเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้นจะทำให้โครงสร้างทองแดงเกิดการโค้งงอเสียรูปเนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ electroplating สูงมากเกินไป

3.2 การเคลือบผิวด้านบนของโครงสร้างด้วยนิกเกิล

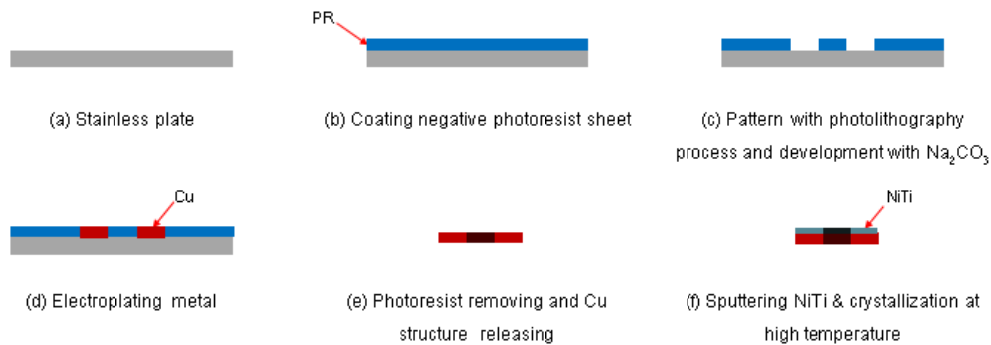
ขั้นตอนที่สองเริ่มจากการนำโครงสร้างทองแดงแบบลอยตัวมาทำความสะอาดออกไซด์ที่ติดอยู่บนผิวทองแดงออก หลังจากนั้นจึงนำไปเคลือบนิกเกิลด้วยกระบวนการ Sputtering โดยมีความดันภายในเครื่อง Sputtering เท่ากับ 3.2×10^{-3} mbar ซึ่งจะสร้าง

ฟิล์มให้ได้ความหนาประมาณ 5 μm ในขั้นตอนสุดท้ายจึงนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 550 $^{\circ}\text{C}$ ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอนที่มีอัตราการไหล 2,000 sccm และมีความดันอยู่ที่ 7 torr เพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์บนผิวโลหะ สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิจะเพิ่มเป็นลำดับขั้น โดยเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องครั้งละ 50 $^{\circ}\text{C}$ ทุกๆ 10 นาที เป็นลำดับขั้น จนมีอุณหภูมิในเตาอบเท่ากับ 550 $^{\circ}\text{C}$ ซึ่งชิ้นงานในแต่ละขั้นตอนการผลิตถูกแสดงในรูปที่ 6

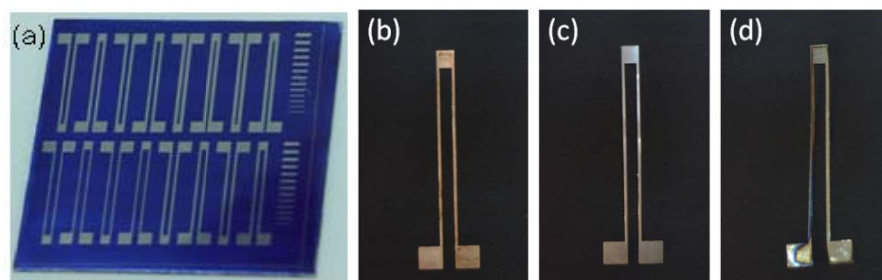
จากการศึกษาการอบชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงพบว่า หากทำการอบที่อุณหภูมิที่สูงเกินไป จะทำให้เกิดออกไซด์บนผิวโลหะ และมีคุณสมบัติทางกลเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้มีระยะกระดกน้อยลงได้

4. การทดสอบแอคชูเอเตอร์

การทดสอบแอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปจะใช้การวัดระยะกระดกเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แอคชูเอเตอร์ โดยการยึดปลายขาของแอคชูเอเตอร์กับพื้นและจับยึดด้านบนด้วยแผ่นกระจก

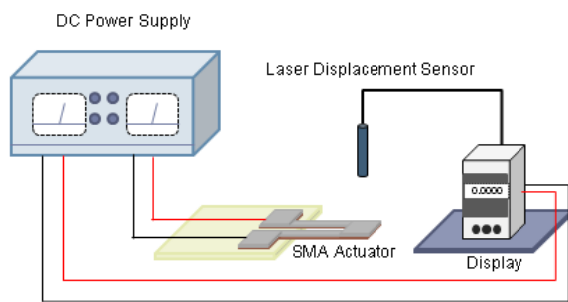


รูปที่ 5 ขั้นตอนการสร้างแอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูป



รูปที่ 6 แอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปในขั้นตอนต่างๆ (a) แบบของแอคชูเอเตอร์บนโฟโตรีซิส (b) โครงสร้างทองแดงลอยตัวหลังกระบวนการ electroplating (c) หลังจาก Sputtering process (d) หลังจากอบที่ 550 $^{\circ}\text{C}$

ในการศึกษานี้ได้มีการใช้อุปกรณ์ในการวัดระยะการกระดกและอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าง่ายรูปที่ 7 ซึ่งประกอบด้วยเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และเครื่องมือวัดระยะการกระดกคือ เลเซอร์วัดระยะ ซึ่งมีความแม่นยำในการวัดเท่ากับ 1 μm โดยในการทดสอบจะใช้เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขาของแอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแอคชูเอเตอร์จะกระดกขึ้น ตัวเซนเซอร์ของเลเซอร์วัดระยะจะวัดความเปลี่ยนแปลงแล้วแสดงบนจอแสดงผล

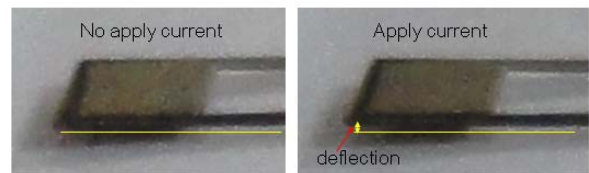


รูปที่ 7 ไอโตะแกรมของอุปกรณ์ในการทดสอบระยะการกระดก

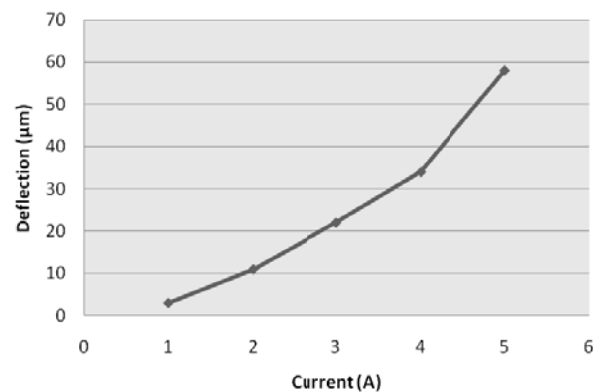
เมื่อทำการทดสอบการกระดกของแอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปที่ทำการอบที่อุณหภูมิสูง จะเห็นได้ว่าแอคชูเอเตอร์จะกระดกขึ้น โดยรูปที่ 8 เป็นลักษณะของแอคชูเอเตอร์ก่อนจ่ายกระแสไฟฟ้า และหลังจากจ่ายกระแสไฟฟ้า 5.3 A เป็นเวลา 5 นาที โดยมีระยะกระดกประมาณ 120 μm และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างแอคชูเอเตอร์ที่ทำการอบที่อุณหภูมิสูงกับตัวที่ไม่ได้ทำการอบ ในสภาวะการทดลองเดียวกันพบว่า แอคชูเอเตอร์ที่ไม่ได้ทำการอบจะมีระยะกระดกประมาณ 25 μm ผลการทดลองแสดงว่าแอคชูเอเตอร์ที่ทำการอบที่อุณหภูมิสูงแล้วซึ่งจะมีผลของ shape memory effect จะให้ระยะกระดกที่มากกว่าแอคชูเอเตอร์ที่ไม่ได้ทำการอบที่อุณหภูมิสูงซึ่งมีเฉพาะผลของ thermal effect เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม การอบที่อุณหภูมิสูงนี้สามารถทำให้เกิดออกไซด์บนผิวของแอคชูเอเตอร์ได้ ซึ่งคุณสมบัติของโลหะผสมจำรูปจะเปลี่ยนไป และอาจทำให้

แอคชูเอเตอร์มีการกระดกที่น้อยกว่าแอคชูเอเตอร์ที่ไม่ผ่านการอบได้เช่นเดียวกัน

ในส่วนต่อไป จึงทำการทดสอบเพื่อศึกษาผลของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายต่อระยะการกระดกของแอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปที่ทำการอบที่อุณหภูมิสูง โดยที่จะทำการจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 นาที่ก่อนวัดค่า ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแอคชูเอเตอร์มีระยะกระดกประมาณ 2.5 μm เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A และมีระยะกระดกประมาณ 57 μm เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ามากที่สุดที่ 5 A จากการศึกษาสรุปได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มการจ่ายกระแสไฟฟ้ามากขึ้น จะทำให้แอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปมีระยะการกระดกเพิ่มขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 8 ภาพถ่ายแอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปเมื่อทำการวัดระยะการกระดก



รูปที่ 9 ผลของกระแสไฟฟ้าต่อระยะการกระดกของแอคชูเอเตอร์

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาแอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างคานสองชั้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการเผาไหม้ โดยนำเสนอกระบวนการสร้างแบบใหม่ และทำการวิเคราะห์ระยะการโก่งตัวด้วยโปรแกรม ANSYS จากการศึกษาพบว่า ผลของความยาวของแอคชูเอเตอร์และความหนาของชั้นทองแดงจะส่งผลต่อระยะการกระดกเป็นอย่างดี

มาก ซึ่งแอคชูเอเตอร์ที่มีความยาวมากและความหนาของชั้นทองแดงน้อยจะมีระยะการกระดกมาก หลังจากนั้นจึงทำการทดลองสร้างแอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปที่มีขนาดเล็กที่สุดจากผลการคำนวณสำหรับกระบวนการผลิตประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ กระบวนการสร้างโครงสร้างทองแดงแบบลอยตัวด้วยการเปลี่ยนแปลงความหยาบของพื้นผิวฐานรองและการเคลือบผิวด้านบนของโครงสร้างด้วยนิกเกิลพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโดยการให้ความร้อน จากกระบวนการสร้างพบว่าการสร้างโครงสร้างทองแดงลอยตัวด้วยกระบวนการ electroplating สามารถสร้างโครงสร้างที่ความหยาบของฐานสแตนเลส $0.1 \mu\text{m}$ ได้ขนาดเล็กที่สุดตั้งนี้ความกว้างของโครงสร้างประมาณ $250 \mu\text{m}$ และมีความหนาประมาณ $100 \mu\text{m}$ หลังจากนั้นจึงเคลือบนิกเกิลที่มีความหนา $5 \mu\text{m}$ และทำการอบที่อุณหภูมิสูงที่ $550 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อทำการทดสอบแอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปโดยการวัดการกระดกเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แอคชูเอเตอร์ พบว่าแอคชูเอเตอร์แบบโลหะผสมจำรูปให้ระยะกระดกสูง โดยที่แอคชูเอเตอร์ที่ทำการอบจะมีระยะกระดกมากกว่าตัวที่ไม่ได้ทำการอบประมาณ 5 เท่า และเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า แอคชูเอเตอร์จะมีระยะกระดกมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจาก สกว. และ สกอ. ภายใต้ทุนวิจัยเลขที่ MRG5080238 และขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยนาโนอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์การทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Dean R.N. Jr., Luque A., (2009), "Applications of Microelectromechanical Systems in Industrial Processes and Services," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, No.4, pp. 913-925.

[2] Yeow T.W., Law K.L.E., Goldenberg A., (2001), "MEMS optical switches," IEEE Communications Magazine, pp. 158-163.

[3] Nisar A., Afzulpurkar N., Mahaisavariya B., Tuantranont A., (2007), "MEMS-based micropumps in drug delivery and biomedical applications," Sens Actuators B, 130, pp.917-942.

[4] Kasagi N., Suzuki Y., Fukagata K., (2009), "Microelectromechanical Systems-Based Feedback Control of Turbulence for Skin Friction Reduction," Annu. Rev. Fluid Mech., Vol. 41, pp. 231-251.

[5] Corke T.C., Kusek S.M., (1993), "Resonance in axisymmetric jets with controlled helical-mode input," J. Fluid Mechanics, 249, pp. 307-336.

[6] Chao Y.-C., Jong Y.-C., Sheu H.-W., (2000), "Helical-mode excitation of lifted flames using piezoelectric actuators," Exp. Fluids, 28, pp.11-20.

[7] Krulevitch P., Lee A.P., Ramsey P.B., Trevino J.C., Hamilton J., Northrup, M.A., (1996), "Thin film shape memory alloy microactuators," J. MEMS, Vol.5, pp. 270-282.

[8] Nespoli A., Besseghini S., Pittaccio S., Villa E., Viscuso S., (2010), "The high potential of shape memory alloys in developing miniature mechanical devices: A review on shape memory alloy mini-actuators," Sens Actuators A, 158, pp. 149-160.

[9] ภากร นนทวัฒน์วิช, (2010), "กระบวนการสร้างเมมเบรนฝังไมโครคอยล์และการศึกษาสมรรถนะในการใช้งานเป็นแอคชูเอเตอร์แบบแม่เหล็กไฟฟ้า," วิทยานิพนธ์ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[10] กฤษกรณ์ ประไพพิทยาคุณ, อลงกรณ์ พิมพ์พิณ และวีระยุทธ ศรีฐระวานิช, (2010), "การพัฒนาไมโครแอคชูเอเตอร์ประเภทโลหะผสมจำรูปสำหรับจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์," ME-NETT ครั้งที่ 24, AMM 042