

กระบวนการผลิตที่รวดเร็วและประหยัดสำหรับไมโครแอคชูเอเตอร์ เชิงความร้อน

A Quick and Cheap Fabrication Process for Micro Electrothermal Actuators

อิทธิพล เจริญบุญญาฤทธิ, วีระยุทธ ศรีสุวรรณิช และ อลงกรณ์ พิมพ์พิณ*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

*ติดต่อ: Email: alongkorn.p@chula.co.th โทรศัพท์: 02-218-6647 โทรสาร: 02-252-2889

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนากระบวนการผลิตไมโครแอคชูเอเตอร์เชิงความร้อนด้วยวิธีการที่มีราคาถูกและระยะเวลาสร้างรวดเร็ว โดยกระบวนการผลิตประกอบด้วย การนำฟิล์มโฟโตลิซิสชนิดเนกาทีฟมาติดบนแผ่นสแตนเลสที่ขัดพื้นผิวจนเรียบ จากนั้นนำไปฉายรังสีอัลตราไวโอเลตผ่านหน้ากากเพื่อทำให้คุณสมบัติของฟิล์มโฟโตลิซิสเปลี่ยนแปลง เมื่อนำไปจุ่มในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตจะทำให้เกิดแบบหล่อที่มีรูปร่างตามรูปร่างของแอคชูเอเตอร์ แล้วจึงนำไปเคลือบผิวโลหะลงด้านในแบบหล่อด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี เมื่อได้ความหนาของโลหะตามที่ต้องการแล้ว ฟิล์มโฟโตลิซิสจะถูกทำลายละลายออกไปโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งส่งผลทำให้โครงสร้างโลหะด้านในแบบหล่อหลุดออกจากแผ่นสแตนเลสมาพร้อมกัน โลหะที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นนิกเกิล ผลการทดลองแสดงว่าชิ้นงานที่สร้างขึ้นมาด้วยวิธีการที่นำเสนอมีขนาดที่ใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบไว้ และยังพบว่าการใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์นิกเกิลซัลเฟตและสารละลายอิเล็กโทรไลต์นิกเกิลซัลเฟตทำให้ความสม่ำเสมอของขนาดชิ้นงานไม่แตกต่างกัน แต่มีลักษณะของพื้นผิวบนชิ้นงานที่แตกต่างกัน โดยที่พื้นผิวชิ้นงานที่ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์นิกเกิลซัลเฟตจะมีความละเอียดและราบเรียบมากกว่า

คำหลัก : แอคชูเอเตอร์เชิงความร้อน, กระบวนการไฟฟ้าเคมี, นิกเกิล, กระบวนการสร้างชิ้นงานระดับจุลภาค, โฟโตลิซิสแบบแห้ง

Abstract

This study aims to develop a new fabrication process that is cheap and quick for a micro electrothermal actuator. The fabrication process consists of laminating a negative dry film photoresist, photolithography to create a photoresist mold and electroplating nickel structure. With this technique on the stainless plate with proper smoothness, the nickel structure is naturally released together with mold when dipping in sodium hydroxide solution at the end of fabrication. Comparing between two electrolyte solutions, i.e. nickel sulfate and nickel sulfamate, the structures formed by two solutions have comparable uniformity of dimensions but the surface of that formed by nickel sulfamate is smoother and finer.

Keyword : Electrothermal actuator, Electroplating, Nickel, Micro Fabrication, Photoresist dry film

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆ ได้ถูกพัฒนาให้มีขนาด

AMM-242

เล็กลง ไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ หัวอ่าน ฮาร์ดดิสก์คอมพิวเตอร์ เซนเซอร์ในเครื่องเล่นซีดี โดยในกระบวนการผลิตชิ้นงานเหล่านี้จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์หรือเครื่องจักรช่วยในการจับยึดและประกอบชิ้นงานขึ้นมา อุปกรณ์จับยึดในกระบวนการประกอบนั้นจะต้องสามารถใช้งานกับชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กระดับไมโครหรือนาโนสเกลได้อย่างดี โดยอุปกรณ์จะต้องออกแรงเพื่อจับชิ้นงานให้ได้ด้วยความแม่นยำที่สูงเพียงพอ มีกระบวนการสร้างที่ไม่ซับซ้อนและสามารถนำมาใช้งานควบคุมแบบป้อนกลับได้ง่ายในกรณีที่ต้องการการทำงานให้มีเสถียรภาพ [1-2] กลุ่มวิจัยที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีความสนใจในการพัฒนาการสร้างอุปกรณ์ขนาดเล็กหรือที่เรียกว่าไมโครแอกชูเอเตอร์ เพื่อนำไปช่วยจับยึดชิ้นส่วนขนาดเล็กในอุตสาหกรรมในอนาคตได้ ซึ่งทางกลุ่มวิจัยได้ศึกษาในหัวข้อดังกล่าวมาอย่างต่อเนื่อง [3-4]

แอกชูเอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยทั่วไปนั้นมีหลายประเภทซึ่งแต่ละประเภทถูกแบ่งด้วยหลักการของการทำงานที่ต่างกันไป เมื่อทำการศึกษาแอกชูเอเตอร์ในแต่ละหลักการนั้น พบว่าหลักการเชิงความร้อนจะสามารถสร้างแรงที่มีขนาดสูงได้ง่าย มีความทนทานและใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำ [5] แต่กระบวนการสร้างก็ยังมีความซับซ้อนซึ่งต้องอาศัยการกัดวัสดุด้านหลังของแอกชูเอเตอร์ออกเพื่อให้โครงสร้างของแอกชูเอเตอร์มีอิสระสำหรับการเคลื่อนที่ได้ [6-8]

ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้พัฒนากระบวนการสร้างไมโครแอกชูเอเตอร์เชิงความร้อนโดยอาศัยเทคนิคไฟฟ้าเคมีสำหรับนักเกลเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนและลดต้นทุนในการผลิตได้เป็นอย่างมาก

2. หลักการของแอกชูเอเตอร์เชิงความร้อน

กลไกการขับเคลื่อนของแขนไมโครแอกชูเอเตอร์ที่ใช้สำหรับยึดจับชิ้นงานมีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 1 ก ซึ่งมีโครงสร้างเป็นรูปตัวอักษร Z ที่มีโครงสร้างที่มี

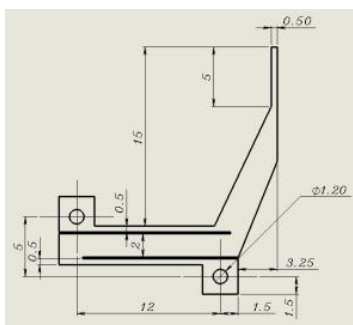
ขนาดเล็กและใหญ่ เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าแก่ขาทั้งสองด้าน จะเกิดการสะสมของความร้อนในโครงสร้างของแอกชูเอเตอร์ทำให้โครงสร้างมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยโครงสร้างบางส่วนที่มีขนาดเล็กและใหญ่จะมีอุณหภูมิไม่เท่ากันและเกิดการขยายตัวที่ไม่เท่ากันส่งผลให้เกิดการโก่งตัวของโครงสร้างในแนวระนาบกับชิ้นงานและแนวตั้งฉากกับระนาบของชิ้นงาน โดยในรูป 1 ข แสดงถึงวิธีการนำไปใช้งานในกรณีที่ต้องการจับยึดชิ้นงาน โดยการนำเอาแอกชูเอเตอร์สามอันมาประกอบกันห่างกันทำมุม 120 องศาบนฐานพลาสติกจะทำให้เป็นแขนจับชิ้นงานได้ ซึ่งจะมีข้อดีคือ แอกชูเอเตอร์ทั้งสามอันจะมีการวางตัวในแนวสมมาตรโดยอัตโนมัติ (Self alignment) เมื่อนำไปใช้งานในการยึดจับ

3. กระบวนการสร้างกลไก

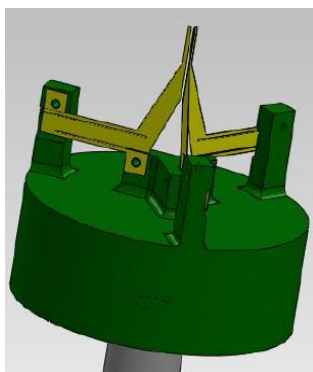
เนื่องจากชิ้นงานมีขนาดเล็กและมีความละเอียดอยู่ในระดับไมโครเมตรซึ่งไม่เหมาะกับการขึ้นรูปด้วยวิธีการทั่วไป เทคนิคกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีจึงเป็นวิธีที่ถูกเลือกมาใช้เนื่องจากสามารถสร้างชิ้นงานขนาดเล็กได้โดยง่าย ราคาไม่แพงและรวดเร็ว

ในการสร้างนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 2 ชนิดคือ สารละลายนิกเกิลซัลฟาเมต ($\text{Ni}(\text{SO}_3\text{NH}_2)_2$) และสารละลายนิกเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) โดยองค์ประกอบทางเคมีของทั้งสองสารละลายแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบผลของชนิดของสารละลายต่อความแม่นยำของขนาดโครงสร้างโดยในการเปรียบเทียบนี้จะใช้ขั้นตอนการสร้างเหมือนกัน โดยความแม่นยำนิยามเป็นความแตกต่างระหว่างขนาดเฉลี่ยของโครงสร้างจริงกับแบบ ดังนั้นเมื่อมีความแตกต่างน้อยกว่าหมายถึงมีความแม่นยำสูงกว่า สำหรับความสม่ำเสมอเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่วัดได้ ดังนั้นหากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่าหมายถึงมีความสม่ำเสมอดีกว่า

AMM-242



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 ไมโครแอคชูเอเตอร์เชิงความร้อน (ก) โครงสร้างรูปอักษร “Z” (ข) อุปกรณ์จับชิ้นงานที่ประกอบด้วยแอคชูเอเตอร์สามตัวบนฐานพลาสติก

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของสารละลายนิกเกิลซัลเฟต

ชื่อสารเคมี	สูตรทางเคมี	ส่วนผสม
Nickel sulfamate	$\text{Ni}(\text{SO}_3\text{NH}_2)_2$	50 oz/gal
Nickel chloride	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	18 g/l
Boric acid	$\text{B}(\text{OH})_3$	33 g/l

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของสารละลายนิกเกิลซัลเฟต

ชื่อสารเคมี	สูตรทางเคมี	ส่วนผสม
Nickel sulfate	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	30 oz/gal
Nickel chloride	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	110 g/l
Boric acid	$\text{B}(\text{OH})_3$	58 g/l

3.1 การเตรียมผิวสำหรับสร้างชิ้นงาน

แผ่นสแตนเลสถูกเลือกมาใช้เป็นผิวในการสร้างแบบเพื่อเตรียมทำการเคลือบนิกเกิลด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี โดยก่อนที่จะนำมาใช้งานต้องขัดผิวแผ่นสแตนเลสให้สะอาดมันวาวเพื่อลดแรงยึดระหว่างนิกเกิลที่

เคลือบกับผิวสแตนเลส มีการตรวจสอบความหยาบผิวเฉลี่ยบนแผ่นในแกนสองแกนที่ตั้งฉากกันบนระนาบที่บริเวณกึ่งกลางแผ่นสแตนเลสให้ต่ำกว่า 0.5 ไมโครเมตร ($R_a < 0.5 \mu\text{m}$) หลังจากนั้นจึงนำไปทำความสะอาดด้วยอะซิโตนและน้ำสะอาด

3.2 การเคลือบฟิล์มโพลีลิซิสบนแผ่นสแตนเลส

ฟิล์มโพลีลิซิสคือพอลิเมอร์ที่ไวต่อแสงอัลตราไวโอเลต เมื่อถูกแสงด้วยความเข้มที่มากพอจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไปและสามารถทำละลายได้โดยง่าย ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นแบบชนิดเนกาทีฟโดยต้องติดฟิล์มไม่ให้มีฟองอากาศจากนั้นจึงนำไปเข้าเครื่องรีดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเพื่อให้ฟิล์มโพลีลิซิสเคลือบติดแน่นสนิท เนื่องจากโพลีลิซิสเป็นพอลิเมอร์ที่ไวต่อแสงเพราะฉะนั้นควรดำเนินการสร้างในห้องมืด

3.3 การพิมพ์ลายจากหน้ากากกันแสง

หน้ากากกันแสงคือแบบของกลไกแอคชูเอเตอร์บนแผ่นใสบาง โดยส่วนที่เป็นลักษณะที่บดละลายของชิ้นงานแอคชูเอเตอร์ ดังนั้นเมื่อทำการฉายแสงอัลตราไวโอเลตลงบนโพลีลิซิสชนิดเนกาทีฟแล้วนำไปจุ่มในสารละลาย ส่วนที่ไม่โดนแสงจะหลุดออกไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ ในการศึกษาทำการฉายแสงอัลตราไวโอเลตด้วยหลอดยูวีขนาด 20 วัตต์จำนวน 4 หลอด เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการฉายแสงพบว่าเวลา 20 วินาทีจะได้ลวดลายของชิ้นงานบนแผ่นโพลีลิซิสที่เคลือบแผ่นสแตนเลสได้อย่างชัดเจน หากฉายแสงเกิน 20 วินาที จะทำให้สมบัติโพลีลิซินั้นเปลี่ยนแปลงมากเกินไปส่งผลให้ไม่เกิดเป็นลวดลายของแอคชูเอเตอร์ตามที่ต้องการ

3.4 การทำละลายฟิล์มโพลีลิซิส

สารละลายที่ใช้ทำละลายฟิล์มโพลีลิซิสคือสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) โดยนำ

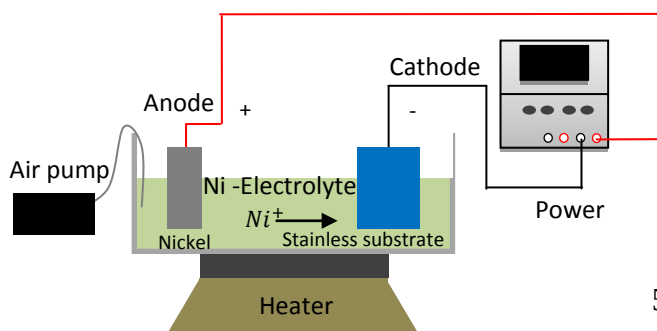
AMM-242

แผ่นสแตนเลสที่เคลือบโพโตลิซิสมาจุ่มในสารละลาย 20 นาที จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยที่ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที เพื่อไล่ความชื้นออก ในระหว่างการให้ความร้อนควรห่ออะลูมิเนียมฟอยด์ หุ้มไว้หนึ่งชั้นเพื่อกันความร้อนที่ผ่านมาที่แผ่นชิ้นงาน ไม่ให้สูงเกินไป ซึ่งอาจส่งผลทำให้ลวดลายบนแผ่นสแตนเลสหลุดลอกตามไปด้วย

3.5 การขึ้นรูปนิกเกิลด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี

หลังจากทำละลายโพโตลิซิสเรียบร้อยแล้วนำแผ่นชิ้นงานมาเคลือบไอออนนิกเกิลลงระหว่างช่องว่างของแบบหล่อโพโตลิซิสตามลวดลายของหน้ากาก จากนั้นจะทำการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าระหว่างขั้วแคโทดและแอโนด โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นตัวกลาง เพื่อให้เกิดการออกซิเดชันและรีดักชันของสองขั้วไฟฟ้า จากรูปที่ 2 ขั้วแอโนดคือแท่งนิกเกิลและขั้วแคโทดคือ แผ่นสแตนเลสที่มีลวดลายของชิ้นงาน ดังที่ได้กล่าวไว้ตอนต้น สารละลายอิเล็กโทรไลต์มี 2 ชนิด คือ สารละลายนิกเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) และ สารละลายนิกเกิลซัลฟาเมต ($\text{Ni}(\text{SO}_3\text{NH}_2)_2$)

การกำหนดขนาดกระแสไฟฟ้า ในกระบวนการไฟฟ้าเคมีพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างการเคลือบของนิกเกิล ($\mu\text{m/hr}$) และค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (mA/cm^2) ซึ่งจากการทดลองพบว่า สารละลายนิกเกิลซัลฟาเมตให้ความสัมพันธ์คือ $0.60 (\mu\text{m/hr})/(\text{mA/cm}^2)$ ส่วนของสารละลายนิกเกิลซัลเฟตให้ความสัมพันธ์คือ $0.48 (\mu\text{m/hr})/(\text{mA/cm}^2)$ ทำให้สามารถคำนวณหาเวลาในการสร้างได้ สำหรับในการทดลองนี้ได้ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 6.88 mA/cm^2 ในส่วนของเครื่องสูบลูกอากาศนั้นใช้ในการกวนสารละลาย รวมทั้งใช้เตาให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ประมาณ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 อุปกรณ์ทดลองในกระบวนการไฟฟ้าเคมี

3.6 การทำละลายแบบหล่อโพโตลิซิส

หลังจากได้ชิ้นงานจากกระบวนการไฟฟ้าเคมี จะทำการล้างโพโตลิซิสที่เหลืออกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ทิ้งไว้ 10 นาที ชิ้นงานนิกเกิลก็จะหลุดออกมาพร้อมกับแบบหล่อโพโตลิซิส โดยกระบวนการสร้างทั้งหมดได้สรุปไว้ในรูปที่ 3 สำหรับตัวอย่างของชิ้นงานนิกเกิลในรูปแบบของไมโครแอคชูเอเตอร์ได้แสดงในรูปที่ 4 ซึ่งส่วนที่สำคัญคือโครงสร้างรูปอักษร “Z” ที่จะทำหน้าที่ขยับแอคชูเอเตอร์เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าจนทำให้อุณหภูมิของโครงสร้างสูงขึ้น

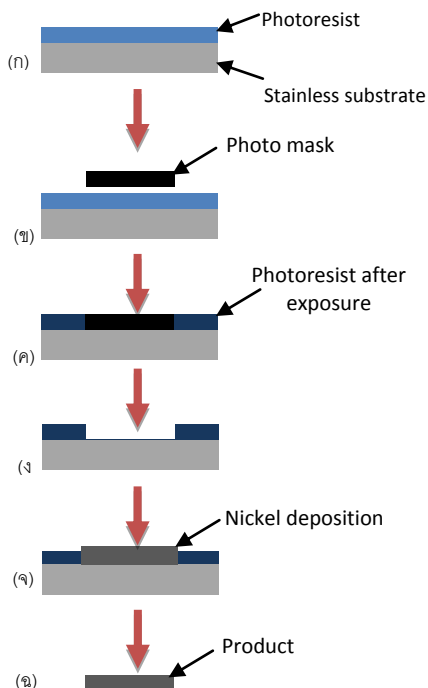
4. การตรวจสอบขนาดของกลไก

การตรวจสอบขนาดกลไกตามแบบบนหน้ากากกันแสงทำโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งพารามิเตอร์ที่เป็นเป้าหมายที่ต้องการคือ ขนาดช่องว่างระหว่างโครงสร้างที่มีขนาดเล็กและใหญ่ ซึ่งมีขนาดที่ออกแบบไว้คือ 100, 200, 300 และ 400 ไมโครเมตร ความกว้างของแขนเล็กสองด้านที่มีขนาด 550 ไมโครเมตร และขนาดความหนาอยู่ที่ประมาณ 100 ไมโครเมตร ค่าที่วัดทั้งหมดนี้มีความสำคัญเนื่องจากมีผลต่อสมรรถนะของแอคชูเอเตอร์

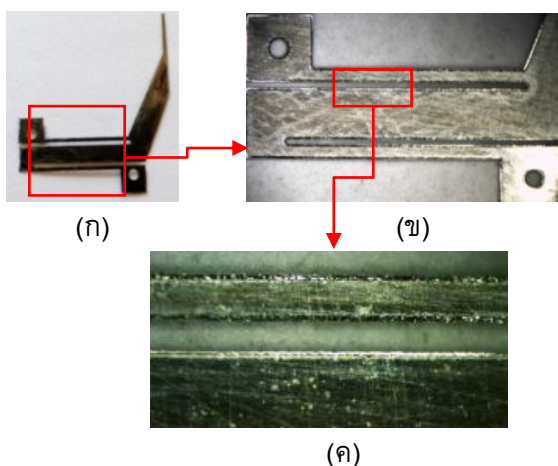
วิธีการตรวจสอบนั้นจะนำกลไกแต่ละตัวมาทำการวัดขนาดช่องว่างระหว่างโครงสร้างที่มีขนาดเล็กและโครงสร้างที่มีใหญ่ 6 จุด ความกว้างของแขนเล็ก 6 จุด ความหนากลไก 6 จุด ดังแสดงในรูปที่ 5ก-ข แล้วนำค่ามาคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อดูความสม่ำเสมอในการสร้าง ซึ่งผลการวัดขนาดของชิ้นงานจากการสร้างที่ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองชนิด แสดงในตารางที่ 3ก-ข และ 4ก-ข ซึ่งเป็นการ

AMM-242

ใช้สารละลายนิกเกิลซัลฟาเมตและสารละลายนิกเกิลซัลเฟต ตามลำดับ โดยใช้ตัวอย่าง 8 ตัว สำหรับแต่ละขนาดของไมโครแอกชูเอเตอร์

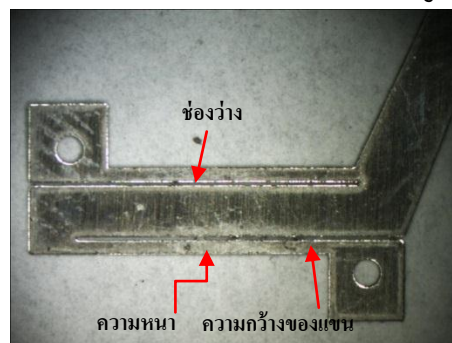


รูปที่ 3 แผนภาพในการสร้างชิ้นงาน (ก) การเคลือบฟิล์มโฟโตลิซิส (ข) ติดหน้ากากกันแสง (ค) ฉายแสงอัลตราไวโอเลต (ง) ทำละลายโฟโตลิซิสส่วนที่ไม่ถูกแสงออก (จ) กระบวนการไฟฟ้าเคมี (ฉ) ทำละลายโฟโตลิซิสส่วนที่เหลือออกเพื่อนำชิ้นงานออกมา

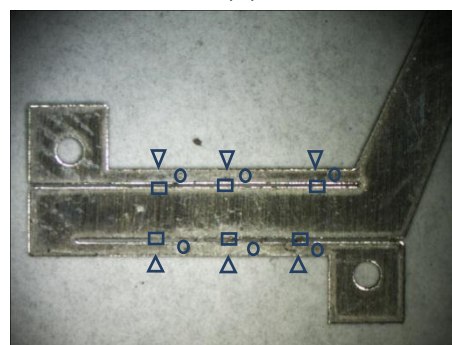


รูปที่ 4 ชิ้นงานไมโครแอกชูเอเตอร์ที่ได้จากกระบวนการไฟฟ้าเคมี (ก) ชิ้นงานแบบเต็มตัว (ข)

ภาพขยายบริเวณโครงสร้าง “Z” (ค) ภาพขยายบริเวณช่องว่างระหว่างโครงสร้างที่มีขนาดเล็กและใหญ่



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 ตำแหน่งที่ใช้ในการวัด (ก) เป้าหมายที่ใช้ตรวจสอบกลไก (ข) ตำแหน่งที่ใช้วัดเพื่อหาค่าเฉลี่ยสี่เหลี่ยมคือช่องว่างระหว่างโครงสร้างที่มีขนาดเล็กและโครงสร้างที่มีใหญ่ สามเหลี่ยมคือความหนา และวงกลมคือความกว้างของแขนเล็ก

ตารางที่ 3ก ขนาดเฉลี่ยของกลไกที่ใช้เทคนิคฟิล์มโฟโตลิซิส

Designed Gap (μm)	Actual Gap (μm)	Hot-leg Width (μm)	Thickness (μm)
100	83	543	98
200	164	551	99
300	260	561	98
400	359	574	86

ตารางที่ 3ก ขนาดเฉลี่ยของกลไกที่ใช้เทคนิคฟิล์มโฟโตลิซิส

Designed Gap (μm)	Actual Gap (μm)	Hot-leg Width (μm)	Thickness (μm)
100	152	427	81
200	240	436	79

AMM-242

300	352	447	80
400	471	431	77

ตารางที่ 4ก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานที่ใช้ निकเกิล
ซัลฟาเมต

Designed Gap (μm)	Actual Gap (μm)	Hot-leg Width (μm)	Thickness (μm)
100	10	10	7.8
200	16.2	8.8	4.1
300	17.8	12.7	4.4
400	14.6	23.2	4.5

ตารางที่ 4ข ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานที่ใช้ निकเกิล
ซัลเฟต

Designed Gap (μm)	Actual Gap (μm)	Hot-leg Width (μm)	Thickness (μm)
100	9.2	12.7	5.9
200	9.4	11.0	4.1
300	6.0	7.0	5.9
400	16.6	15.8	4.6

จากการตรวจสอบขนาดกลไกพบว่าการใช้
สารละลาย निकเกิลซัลฟาเมตจะให้ความไม่สม่ำเสมอ
ของช่องว่างระหว่างโครงสร้างที่มีขนาดเล็กและใหญ่ที่
มีค่ามากที่สุดอยู่ในช่วง ± 17.8 ไมโครเมตร ความหนา
ของกลไกอยู่ในช่วง ± 7.8 ไมโครเมตร และความกว้าง
มีค่า ± 23.2 ไมโครเมตร ในขณะที่การใช้สารละลาย
นิกเกิลซัลเฟต จะให้ความไม่สม่ำเสมอของช่องว่าง
ระหว่างโครงสร้างที่มีขนาดเล็กและใหญ่ที่มีค่ามากที่สุด
อยู่ในช่วง ± 16.6 ไมโครเมตร ความหนาของ
กลไกอยู่ในช่วง ± 5.9 ไมโครเมตร และความกว้างมีค่า
 ± 15.8 ไมโครเมตร

เมื่อพิจารณาที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในตำแหน่งที่
ทำการวัดจะพบว่าความแตกต่างของค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐานจากชิ้นงานที่สร้างด้วยทั้งสองสารละลาย
ค่อนข้างน้อย เมื่อย้อนกลับมาพิจารณาที่ขนาดของ

ลวดลายของแม่พิมพ์หลังจากทำการฉายแสงยูวี
พบว่าขนาดของลวดลายที่เกิดขึ้นมีความคลาดเคลื่อน
และความไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้นอยู่แล้ว ดังแสดงใน
ตารางที่ 5ก-ข นอกจากนั้นขนาดของค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐานของขนาดของแม่พิมพ์ก็มีความใกล้เคียงกับ
ขนาดของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโครงสร้าง निकเกิล
ที่สร้างจากทั้งสองสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (ข้อมูลจาก
ตารางที่ 3 และ 4) ดังนั้นผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า
ความไม่สม่ำเสมอที่เกิดขึ้นอาจจะเป็นผลมาจาก
กระบวนการสร้างแม่พิมพ์อยู่แล้ว

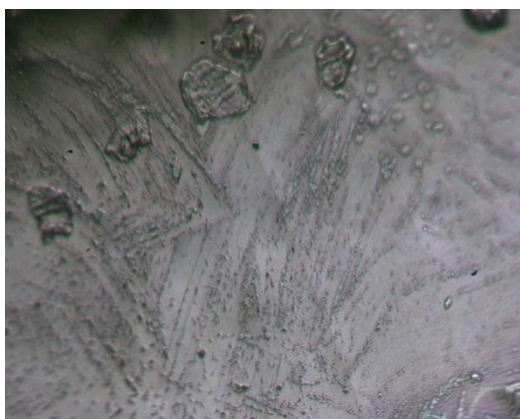
จากผลการทดลอง สิ่งที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัด
คือลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะ
พื้นผิวของชิ้นงานที่สร้างจากทั้งสองสารละลายอิเล็ก
โทรไลต์โดยส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์พบว่าชิ้นงานที่
สร้างจากสารละลาย निकเกิลซัลฟาเมตจะให้ผิวที่
ราบเรียบและละเอียดมากกว่าชิ้นงานที่สร้างจาก
สารละลาย निकเกิลซัลเฟต ดังแสดงในรูปที่ 6ก-ข ซึ่ง
ความแตกต่างนี้อาจจะเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ว่าการใช้
สารละลายอิเล็กโทรไลต์อาจจะส่งผลต่อสมรรถนะทาง
กลของชิ้นงานได้

ตารางที่ 5ก ค่าเฉลี่ยของขนาดของแม่พิมพ์

Designed Gap (μm)	Actual Gap (μm)	Designed Width (μm)	Actual width (μm)
100	87	550	527
200	215	550	522
300	310	550	528
400	405	550	523

ตารางที่ 5ข ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดของแม่พิมพ์

AMM-242



(ก)



(ข)

รูปที่ 6 ลักษณะของพื้นผิวชิ้นงานที่ส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์ (ก) พื้นผิวที่ใช้สารละลายนิกเกิลซัลเฟต (ข) พื้นผิวที่ใช้สารละลายนิกเกิลซัลฟาเมต (ขนาดของรูปภาพประมาณ $100 \times 100 \mu\text{m}^2$)

5.สรุปผล

การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการสร้างชิ้นงานขนาดเล็กด้วยการสร้างแบบหล่อโฟโตลิธิสบนแผ่นสแตนเลส และกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีสามารถสร้างชิ้นงานได้ในระดับใกล้เคียงกับขนาดที่กำหนด โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดอยู่ในช่วง ± 20 ไมโครเมตร ซึ่งวิธีการสร้างที่นำเสนอจะมีต้นทุนต่ำและสร้างได้อย่างรวดเร็ว ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์สองชนิดคือ สารละลายนิกเกิลซัลฟาเมตและสารละลายนิกเกิลซัลเฟต จากการศึกษาพบว่าสารละลายนิกเกิลซัลฟาเมตและนิกเกิลซัลเฟตจะไม่ส่งผลต่อความสม่ำเสมอ

Designed Gap (μm)	Actual Gap (μm)	Actual width (μm)
100	8.1	4.3
200	2.2	12.0
300	11.7	5.0
400	9.8	10.6

ของชิ้นงานอย่างเด่นชัด และให้ความแม่นยำในการสร้างที่ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามลักษณะของผิวชิ้นงานที่สร้างจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองจะแตกต่างกันคือเมื่อใช้สารละลายนิกเกิลซัลฟาเมตพบว่าจะทำให้ผิวชิ้นงานมีความละเอียดและราบเรียบมากกว่า

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สัญญาเลขที่ GRB APS 2557-2103

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Cecil J., Powell D., Vasquez D., 2007, Assembly and manipulation of micro devices – A state of the art survey, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 23, 580-588.
- [2] Nikoobin A., Niaki M.H., 2012, Deriving and analyzing the effective parameters in microgrippers performance, Scientia Iranica B, 19(6), 1554–1563.
- [3] Pimpin A., Prapaipittayakhun K., Srituravanich W., Lertsirarungsun T., Lertapiruk V., 2012, Shape Memory Alloy Micro-Actuator for Handling of Head Gimbal Assembly : Manufacturing Issues, KKU Engineering Journal, 39 (3), 221-227.
- [4] Prapaipittayakhun K., Lertsirarungsun T., Lertapiruk V., Srituravanich W., Pimpin A., 2012, Shape Memory Alloy Micro-Actuator for Handling

AMM-242

of Head Gimbal Assembly : Manufacturing Issues,
Proceeding of The 4th International Data Storage
Technology Conference (DST-CON 2011),
Nonthaburi, Thailand, Jan 9th -10th 2012.

[5] Bell D.J., Lu, T.J., Fleck N.A., Spearing S.M.,
2005, MEMS actuators and sensors: observations
on their performance and selection for purpose, J.
Micromech. Microeng., 15, pp.153-164.

[6] Makarova O.V., Mancini D.C., Moldovan N.,
Divan R., Tang C.H., Ryding D.G., Lee R.H.,
2003, Microfabrication of freestanding metal
structures using graphite substrate, Sensors
Actuators A, 103, pp.182-186.

[7] Ivanova K., Ivanov T., Badar A., Volland B.E.,
Rangelow I.W., Andrijasevic D., Sumecz F.,
Fischer S., Spitzbart M., Brenner W., Kostic I.,
2006, Thermally driven microgripper as a tool for
micro assembly, Microelectronic Eng., 83,
pp.1393-1395.

[8] Cheng C.H., Chan C.K., Cheng T.C., Hsu
C.W., Lai G.J., 2008, Modeling, fabrication and
performance test of an electro-thermal
microactuator, Sensors and Actuators A, 143,
pp.360-369.