

*

MEMS และ ระบบจุลภาค

สิริวิทย์ เตชะเจษฎารังษี¹⁾

¹⁾ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Email: sirtae@kku.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (MEMS) และระบบจุลภาค คือการรวมกันของชิ้นส่วนทางเครื่องกล เซ็นเซอร์ ตัวกระตุ้นการทำงาน และอิเล็กทรอนิกส์ ลงบนชั้นสเตรทหรือแผ่นฐานที่เป็นซิลิกอน เพื่อที่จะสร้างโครงสร้างที่มีขนาดในหน่วยไมโครเมตรหรือขนาดหนึ่งในล้านเมตรด้วยเทคโนโลยีการสร้างและประกอบจุลภาค เซ็นเซอร์ขนาดจุลภาคและตัวกระตุ้นขนาดจุลภาคคือสองกลุ่มหลักใน MEMS เซ็นเซอร์ขนาดจุลภาค หมายถึงเครื่องมือที่เปลี่ยนพลังงานในรูปแบบหนึ่งให้เป็นพลังงานในอีกรูปแบบหนึ่ง และให้ผู้ใช้งานสามารถใช้พลังงานที่ได้จากการตอบสนองอันสอดคล้องกับปริมาณเฉพาะที่รับเข้ามาที่สามารถวัดค่าได้ ดังตัวอย่างการเปลี่ยนพลังงานที่ทำให้เกิดการโก่งตัวของแผ่นโคอะแฟรมในเซ็นเซอร์ความดันให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าที่ส่งออก ส่วนตัวกระตุ้นขนาดจุลภาคคือเครื่องมือทำให้เกิดการเคลื่อนไหวหรือควบคุมชิ้นส่วนขนาดจุลภาคด้วยวิธีหลักๆ อันได้แก่ การใช้แรงที่เกิดขึ้นกับวัสดุเมื่อได้รับความร้อน การใช้วัสดุที่มีความทรงจำในรูปทรงเดิม (shape memory alloys) การใช้วัสดุที่มีการเปลี่ยนรูปร่างเมื่อมีความต่างศักย์ทางไฟฟ้า และการใช้แรงจากไฟฟ้าสถิตย์ ดังตัวอย่างตัวจับขนาดจุลภาคที่จับวัตถุด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ MEMS สามารถรวมเอากลไกทางกลเช่น มอเตอร์ ข้อต่อแบบต่างๆ อุปกรณ์นำแสง และชิ้นส่วนทางไฟฟ้าทุกอย่างลงบนชิพซิลิกอนเพียงตัวเดียวได้ ด้วยเทคโนโลยีทางด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์ และการขึ้นรูปจุลภาค (Micromachining) ข้อได้เปรียบที่มีของ MEMS เมื่อเปรียบเทียบกับ การออกแบบและสร้างด้วยวิธีอื่น คือการออกแบบที่ง่ายขึ้น ต้นทุนการผลิตที่ลดลง ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ขนาดที่ขยอลงอย่างมาก ในปัจจุบัน MEMS มีการผลิตและประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้านตั้งแต่ระบบป้องกันภัย อุปกรณ์ทางการแพทย์ เครื่องมือสื่อสารไร้สาย อุตสาหกรรมยานยนต์ ฯลฯ โดยมีแนวโน้มที่จะมากขึ้นเรื่อยๆ

คำสำคัญ: ระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค, ระบบจุลภาค, เซ็นเซอร์จุลภาค, ตัวกระตุ้นจุลภาค, การสร้าง และประกอบจุลภาค

MEMS and Microsystems *

Sirivit Taechajedcadarungsri ¹⁾

¹⁾ Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

Email: sirtae@kku.ac.th

ABSTRACT

Microelectromechanical Systems (MEMS) and Microsystems are the integration of mechanical elements, sensors, actuators, and electronics on a common silicon substrate to form small structures with dimensions in the micrometer scale (one millionth of a meter) through microfabrication technology. Microsensors and Microactuators are the two main categories of MEMS. Microsensors are defined as devices that convert one form of energy into another and provide the user with a usable energy output such in response to a specific measurable input. One such an example is to convert the energy that required to deflect the thin diaphragm in a pressure sensor into an electrical energy output. Microactuators are devices designed for moving or controlling microelements by principal means of thermal forces, shape memory alloys, piezoelectric crystals and electrostatic forces. Microgrippers, for example, can function by using electrostatic forces generated in parallel charged plates to grip the objects. MEMS can include mechanisms, such as motors, links and optical and electrical components, such as switches, all on a single silicon chip using microelectronics and micromachining technologies. MEMS advantages, compared to other methods of design and fabrication, are design simplicity, cost reduction, high performance, microscale sizes. Today, high volume MEMS can be found on diverse systems ranging across defense, medical electronic, wireless communication and automotive applications.

Keywords: MEMS, Microsystems, Microsensors, Microactuators, Microfabrication

บทนำ

*

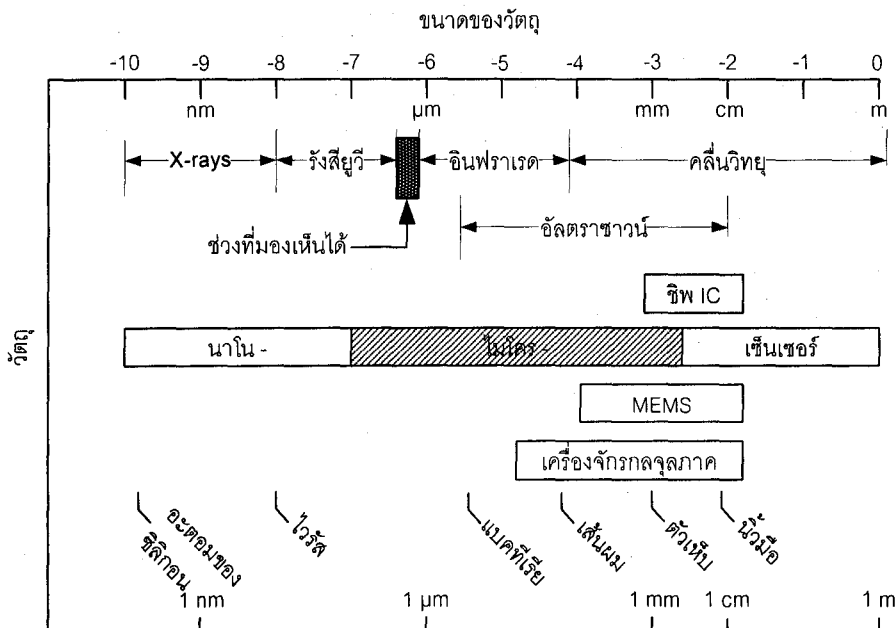
Original manuscript submitted: March 22, 2005

บทนำ

บทความนี้เขียนขึ้นเพื่อแนะนำและสร้างความสนใจในศาสตร์แขนงใหม่ที่ทั่วโลกกำลังสนใจและเร่งพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีแขนงใหม่ที่กล่าวถึงนี้ก็คือ ระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค โดยในยุโรป การศึกษาเกี่ยวกับระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาคถูกเรียกว่า "Microsystems" ส่วนในสหรัฐอเมริกากลับเรียกว่า "Microelectromechanical Systems" หรือที่เรียกกันย่อๆ ว่า "MEMS" ซึ่งคำว่า MEMS เริ่มใช้กันแพร่หลายมากขึ้นทั่วโลก ทั้งนี้คำว่า "Microsystems" ในปัจจุบันได้เปลี่ยนไปสื่อถึง ระบบจุลภาคหรือระบบที่มีการรวมกันของ MEMS หลายๆ ส่วนเข้าไว้ด้วยกันเป็นระบบใหญ่ที่ทำงานซับซ้อนขึ้น

MEMS คืออะไร

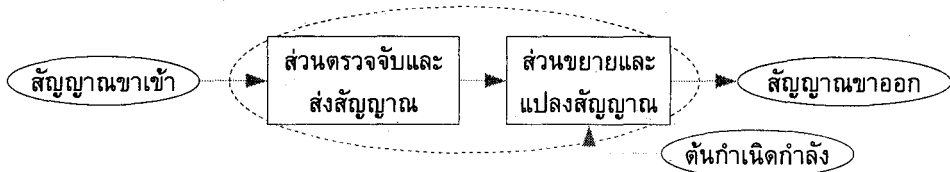
เครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค หรือ MEMS (อ่านว่า เมมส์) ย่อมาจากคำว่า Microelectromechanical Systems โดยที่ Micro คือขนาดที่อยู่ในสเกลที่เล็กมากๆ ($\sim 10^{-6}$ เมตร) ส่วน Electro สื่อถึงเรื่องไฟฟ้า และ(หรือ) อิเล็กทรอนิกส์ และ Mechanical ก็เป็นกลไกหรือส่วนที่เคลื่อนไหวที่มีอยู่ในระบบ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า MEMS เป็นระบบที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่มีขนาดโดยประมาณตั้งแต่ $1\text{ }\mu\text{m}$ จนถึง $1000\text{ }\mu\text{m}$ (1 mm) เช่น ชิ้นส่วนทางกล เช่นเซอร์ ตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงานและชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ลงบนซับสเตรท (Substrate) รูปที่ 1 แสดงถึงการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุกับขนาดของ MEMS



รูปที่ 1 ขนาดของเซ็นเซอร์ MEMS เครื่องจักรกลจุลภาค เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุต่างๆ [Gardner, 1994]

โดยทั่วไปแล้ว MEMS สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ เซ็นเซอร์ขนาดจุลภาค หรือ ไมโครเซ็นเซอร์ (Microsensors) และ ตัวกระตุ้นขนาดจุลภาค (Microactuators)

ไมโครเซ็นเซอร์ (Microsensors)

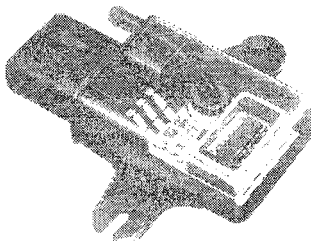


รูปที่ 2 องค์ประกอบของไมโครเซ็นเซอร์ (Microsensors)

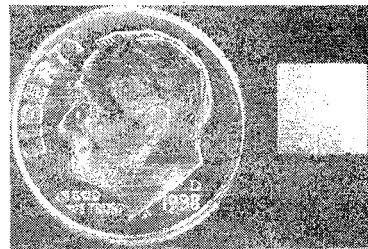
รูปที่ 2 แสดงถึงองค์ประกอบของไมโครเซ็นเซอร์ ซึ่งโดยปกติจะทำงานโดยเปลี่ยนปริมาณทางกายภาพไปเป็นปริมาณทางไฟฟ้า ไมโครเซ็นเซอร์ เป็นเซ็นเซอร์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อตรวจจับปริมาณในด้านต่างๆ ที่ไม่ใช่ปริมาณทางไฟฟ้า เช่น ปริมาณทางด้านกายภาพ เคมีภาพ หรือชีวภาพ ซึ่งปริมาณต่างๆนี้อาจเป็นอุณหภูมิ ความดัน แรง แสง ปฏิกริยาเคมี ความเข้มข้นแม่เหล็ก หรือ องค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น ข้อได้เปรียบในการใช้ไมโครเซ็นเซอร์ก็คือ การที่เป็นเซ็นเซอร์ขนาดเล็ก จึงมีความไวและแม่นยำในการตรวจวัดปริมาณต่างๆ ที่ต้องการโดยใช้ตัวอย่างสิ่งที่ต้องการตรวจวัดปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถตรวจวัดได้

ไมโครเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ อย่างกว้างขวางขึ้น เซ็นเซอร์ที่มีใช้กันทั่วไปก็ได้แก่ เซ็นเซอร์ทางชีวภาพ (biosensors) เซ็นเซอร์ทางเคมีภาพ (chemical sensors) ออปติคัลเซ็นเซอร์ (optical sensors) เซ็นเซอร์ทางด้านอุณหภูมิ (thermal sensors) เป็นต้น ขอยกตัวอย่างเซ็นเซอร์ความดัน (pressure sensors) เพื่อทำความเข้าใจกับส่วนประกอบของไมโครเซ็นเซอร์ ระบบจะรับสัญญาณขาเข้าซึ่งก็คือความดัน โดยสัญญาณจะถูกตรวจจับโดยชิ้นส่วนขนาดเล็กซึ่งเป็นแผ่นไดอะแฟรมทำจากซิลิกอน (Si) ที่มีความหนาเพียงไม่กี่ไมโครเมตร (μm)

ในรูปที่ 3 แสดงเซ็นเซอร์ความดันที่สร้างขึ้นโดยบริษัท Ford Motor โดยรูปที่ 3(ข) แสดงถึงขนาดของแผ่นไดอะแฟรมของเซ็นเซอร์ความดันนั้นเมื่อเทียบกับเหรียญ 1 เซนต์



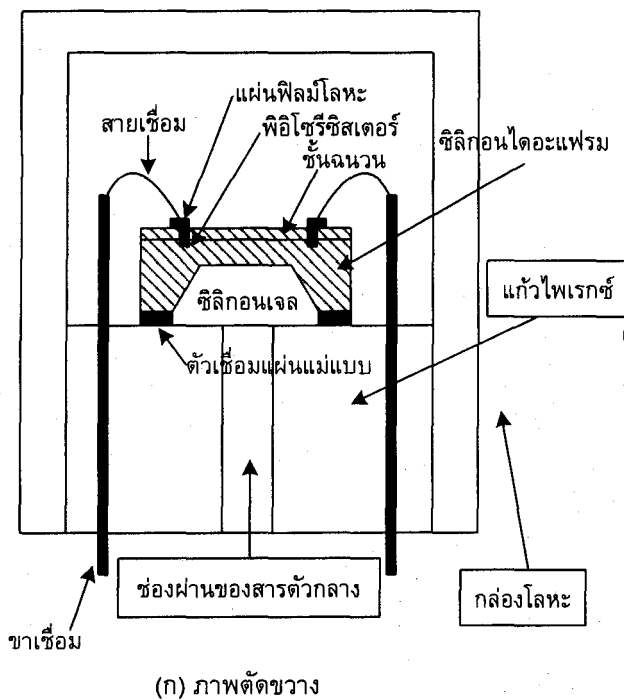
(ก) เซ็นเซอร์ความดัน



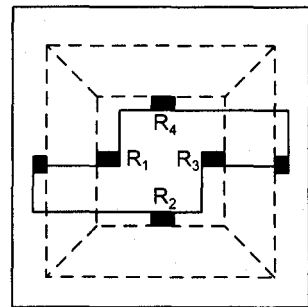
(ข) แผ่นซิลิกอนไดอะแฟรม

รูปที่ 3 เซ็นเซอร์ความดันสร้างโดยบริษัท Ford Motor [Hsu, 2002]

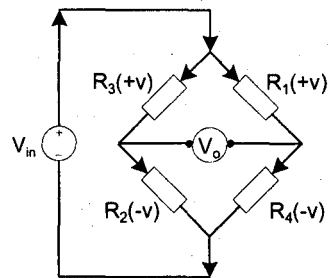
โดยที่ระยะการโก่งตัวของแผ่นไดอะแฟรมที่เกิดจากความดันจากแหล่งกำเนิดจะถูกเปลี่ยนเป็นค่าความต้านทานกระแสค่าหนึ่งโดยชิ้นส่วนที่เรียกว่า ไมโครพรีโซซิสเตอร์ (micropiezoresistors) ซึ่งถูกประกอบติดกับแผ่นไดอะแฟรมดังแสดงในรูปที่ 4(ก) ทั้งนี้ไมโครพรีโซซิสเตอร์ เป็นส่วนหนึ่งของตัวขยายสัญญาณ (transduction unit) ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า โดยวงจรวัดสโตนบรีดจ์ (wheatstone bridge circuit) ซึ่งก็ถูกติดตั้งบนตัวเซ็นเซอร์ และก็เป็นอีกส่วนหนึ่งของตัวขยายสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 4(ข) และรูปที่ 4(ค)



(ก) ภาพตัดขวาง



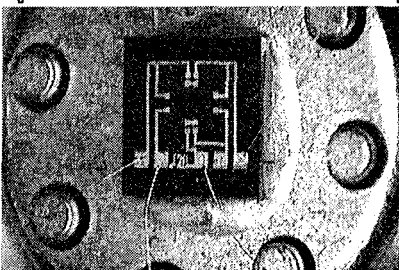
(ข) ภาพด้านบนของแผ่นแม่แบบซิลิกอน



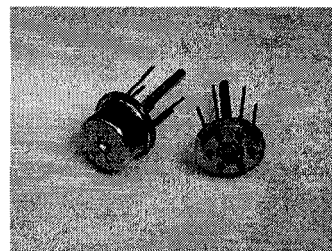
(ค) วงจร

รูปที่ 4 องค์ประกอบทั่วไปของเซ็นเซอร์ความดันขนาดจุลภาค [Hsu,2002]

รูปที่ 5 แสดงภาพขยายของวงจรวัดสโตนบรีดจ์และการต่อวงจรบนเซ็นเซอร์ความดัน โดยรูปที่ 6 แสดงเซ็นเซอร์ความดันขนาดจุลภาคหลังทำการบรรจุภัณฑ์ซึ่งจะพบลักษณะบรรจุภัณฑ์นั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบและการต่อวงจรที่มีรูปแบบต่างกัน



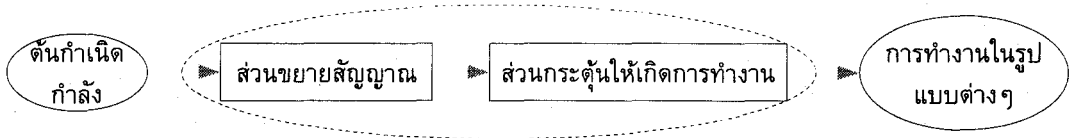
รูปที่ 5 วงจรวัดสโตนบรีดจ์บนเซ็นเซอร์ความดัน [Lee]



รูปที่ 6 บรรจุภัณฑ์ของเซ็นเซอร์ความดัน [Lee]

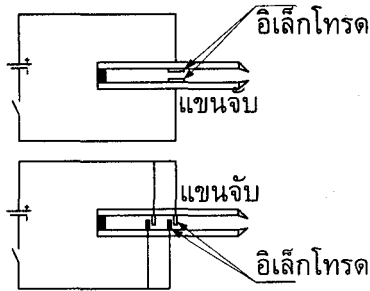
ยังมีไมโครเซ็นเซอร์อีกหลายชนิดที่มีการใช้งานอยู่ในงานต่างๆ เช่น เซ็นเซอร์ทางเคมีภาพ ซึ่งใช้ในการตรวจจับสารเคมีหรือแก๊สพิษ เช่น CO CO_2 NO O_3 และ NH_3 ฯลฯ เพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพของอากาศ เซ็นเซอร์ทางชีวเวช (Biomedical sensors) หรือ เซ็นเซอร์ทางชีวภาพ ได้มีการพัฒนาและมีการนำมาใช้งานในด้านต่าง ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เซ็นเซอร์ทางชีวภาพมีข้อได้เปรียบที่ใช้สารตัวอย่างน้อยมากในการวิเคราะห์และวินิจฉัยทางเคมี ทางกายภาพ รวมถึงทางวิศวกรรม และสามารถประมวลผลได้รวดเร็วกว่าการใช้เครื่องมือวัดแบบดั้งเดิม จากขนาดที่เล็กของเซ็นเซอร์จึงสามารถผลิตได้ในปริมาณที่มาก ๆ ในแต่ละชุดการผลิต ซึ่งส่งผลในการลดต้นทุนการผลิต

ตัวกระตุ้นขนาดจุลภาค (Microactuators)

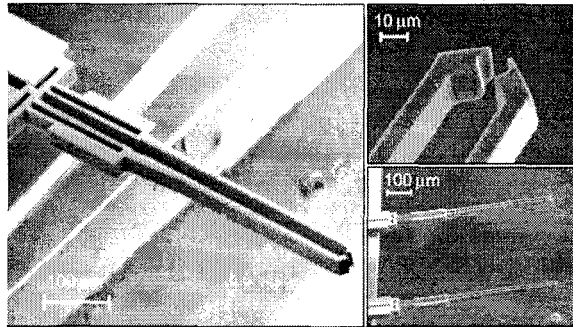


รูปที่ 7 องค์ประกอบของตัวกระตุ้นขนาดจุลภาค (Microactuator)

การทำงานของ MEMS อีกรูปแบบหนึ่งที่มีหลักการทำงานตรงกันข้ามกับไมโครเซ็นเซอร์ ก็คือ ตัวกระตุ้นขนาดจุลภาค ตัวกระตุ้นขนาดจุลภาคมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนเช่นกัน (ดังรูปที่ 7) แต่ทำงานโดยมีส่วนขยายและแปลงสัญญาณทำหน้าที่แปลงสัญญาณขาเข้าจากต้นกำเนิดกำลัง ไปเป็นสัญญาณที่ส่งต่อไปยังส่วนที่ทำหน้าที่กระตุ้นให้เกิดสัญญาณขาออกหรือการทำงาน สัญญาณขาเข้านี้อาจอยู่ในรูปของความต่างศักย์ทางไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อน ฯลฯ การทำงานที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นการเคลื่อนไหวของกลไกในระบบ ตัวกระตุ้นขนาดจุลภาคโดยทั่วไปจะถูกกระตุ้นให้ทำงานได้ด้วยวิธีหลัก 4 วิธีด้วยกันได้แก่ การใช้แรงที่เกิดขึ้นกับวัสดุเมื่อได้รับความร้อน การใช้วัสดุที่มีความทรงจำในรูปทรงเดิม (shape memory alloys) การใช้วัสดุที่มีการเปลี่ยนรูปร่างเมื่อมีความต่างศักย์ทางไฟฟ้า และการใช้แรงจากไฟฟ้าสถิตย์ วิธีที่นิยมใช้กันก็คือวิธีสุดท้าย ซึ่งเกิดมาจากการใช้ประจุไฟฟ้ากับแผ่นนำไฟฟ้าที่วางขนานกัน หรืออิเล็กโทรด (electrodes) ที่แยกขั้วและชั้นกลางด้วยวัสดุฉนวนที่เรียกว่า dielectric material อย่างเช่น อากาศ ส่วนหลักการทำงานง่าย ๆ โดยอาศัยความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างกัน ด้วยหลักการนี้ถูกนำมาใช้งานในหลายด้าน เช่น ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนกลไกขนาดจิ๋ว หรือใช้เป็นตัวจับขนาดจุลภาค (Microgrippers) ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตัวกระตุ้นขนาดจุลภาคที่ใช้
หลักการทำงานทางไฟฟ้าสถิตย



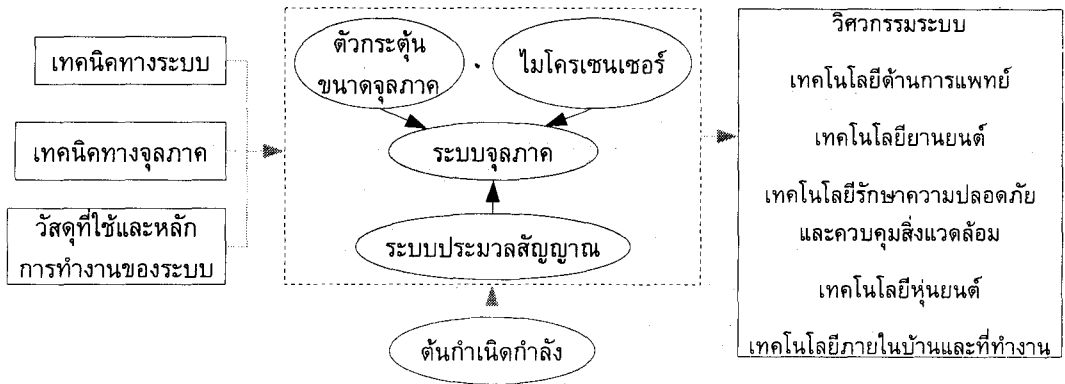
รูปที่ 9 ตัวจับขนาดจุลภาค

ส่วนรูปที่ 9 แสดงถึงตัวอย่างของตัวจับขนาดจุลภาคเพื่อใช้ในการเคลื่อนย้ายวัตถุขนาดเล็ก หรือเพื่อการจัดและแยกเซลล์เนื้อเยื่อที่ลดการรบกวนบริเวณรอบข้างในระหว่างการผ่าตัดทางการแพทย์

เทคโนโลยีของ MEMS

ในการพัฒนา MEMS มีแนวโน้มมุ่งไปที่การสร้างและประกอบโดยรวม MEMS หลาย ๆ ส่วนลงบนชิพ ซึ่งบนชิพนี้จะมีทั้ง ไมโครเซ็นเซอร์ ตัวกระตุ้นขนาดจุลภาคและมีส่วนประมวลสัญญาณต่าง ๆ เพื่อการทำงานที่สัมพันธ์กัน เทคโนโลยีที่รวม 3 ส่วนนี้เข้าไว้ด้วยกันลงบนชิพนั้นเรียกว่า เทคโนโลยีระบบจุลภาค หรือ microsystems technology (MST) การสร้าง MEMS โดยใช้ MST ที่ว่ามานี้ เริ่มขึ้นระหว่างปี 1980 เป็นต้นมา Fatikow และ Rembold ได้สรุปถึง MST ว่าประกอบขึ้นได้โดยกลุ่มเทคนิคหลัก 3 กลุ่มคือ กลุ่มเทคนิคทางระบบ กลุ่มเทคนิคทางจุลภาค และกลุ่มวัสดุและหลักการทำงานของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งในรูปได้แสดงถึงกลุ่มการประยุกต์ใช้งานไว้เช่นกัน

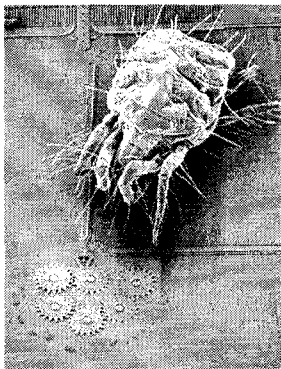
Fatikow และ Rembold ได้อธิบายถึงการพัฒนา MST เพื่อให้เกิดระบบจุลภาคที่สมบูรณ์นั้น จำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคนิคย่อยของ 3 กลุ่มเทคนิคหลักซึ่งพอยกตัวอย่างได้ดังนี้ กลุ่มเทคนิคระบบยังมีเทคนิคย่อยที่ต้องการการพัฒนาคือ ระบบประมวลสัญญาณและข้อมูล เทคโนโลยีการต่อวงจร เทคโนโลยีการบรรจุภัณฑ์ การสร้างแบบจำลองระบบ กลุ่มย่อยของกลุ่มเทคนิคจุลภาคได้แก่เทคนิคการสร้างชั้นโครงสร้างต่าง ๆ ของ MEMS เทคนิคทางไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนกลุ่มวัสดุและหลักการทำงานของระบบซึ่งแยกกลุ่มย่อยในการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เช่น โลหะ สารโพลิเมอร์ ซิลิกอน เซรามิก และวัสดุต่างๆ รวมถึงการพัฒนาหลักการเกิดแรงทางไฟฟ้าสถิตย หลักการใช้วัสดุที่มีความทรงจำในรูปทรงเดิม (shape memory materials)



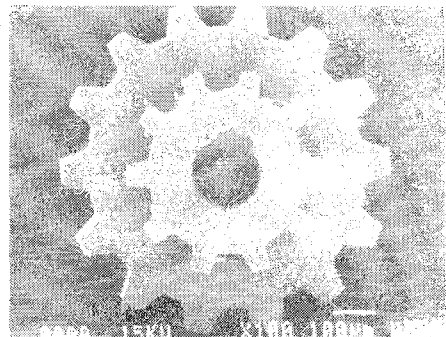
รูปที่ 10 องค์ประกอบของเทคโนโลยีระบบจุลภาค และส่วนประกอบของระบบจุลภาค

ตัวอย่างที่ยกขึ้นมาต่อไปนี้เป็นอุปกรณ์ หรือชิ้นส่วนของ MEMS ที่ถูกสร้างขึ้นมาและเป็นเพียงตัวอย่างส่วนหนึ่งของ MEMS เท่านั้น นับถึงปัจจุบันนี้ อุปกรณ์ MEMS รูปแบบใหม่ ๆ ถูกสร้างขึ้นมาประยุกต์ใช้งานอย่างต่อเนื่อง ตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการผลิตจุลภาค (micromanufacturing)

1. เฟืองจุลภาค (Microgears) จากรูปที่ 11 แสดงให้เห็นถึงขนาดที่เล็กของชุดเฟือง เมื่อเทียบกับตัวเห็บ ซึ่งให้ความรู้สึกถึงขนาดจริงของเฟืองชุดนี้ ส่วนรูปที่ 12 เป็นเฟือง 2 ระดับ ที่วางซ้อนกันโดยวัสดุที่ใช้คือ เซรามิก โดยระยะพิชท์ (pitch) มีขนาดในสัดส่วนของ $100\ \mu\text{m}$ เฟืองทั้งสองถูกผลิตด้วยกระบวนการที่เรียกว่า LIGA ซึ่งย่อมาจากภาษาเยอรมันที่หมายถึงกระบวนการลิโทกราฟี (Lithography) การปลูกวัสดุด้วยหลักทางไฟฟ้า (electroplating) และการหล่อแบบ (molding)



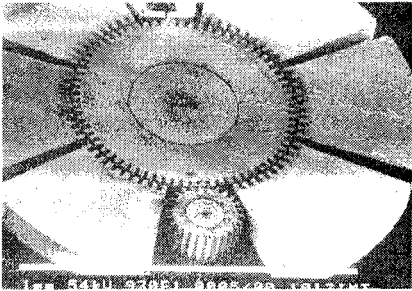
รูปที่ 11 ภาพเปรียบเทียบตัวโรกับชุดเฟืองที่สร้าง



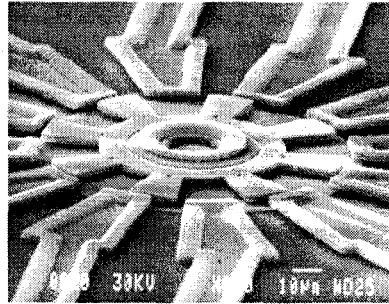
รูปที่ 12 เฟืองสองระดับที่ทำจากเซรามิก [Hsu, 2002]

2. มอเตอร์จุลภาค (Micromotors) ดังรูปที่ 13 ซึ่งแสดงมอเตอร์ขนาดเล็กที่ขับเคลื่อนโดยอาศัยหลักการของไฟฟ้าสถิตย์ และผลิตจากขบวนการ LIGA โดย Bley เมื่อปี ค.ศ. 1993 โดยส่วนประกอบหลักประกอบด้วยตัวโรเตอร์ ซึ่งเป็นเฟืองกลาง ตัวสเตเตอร์ (stator) และเฟืองตัวเล็กที่ใช้ส่งถ่ายแรงบิด โดยเฟืองทั้งหมดทำจากโลหะนิเกิล (nikel) ตัวโรเตอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $700\ \mu\text{m}$ ซึ่งขบกับเฟือง

ตัวในที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 μm โดยความสูงของชุดเฟืองเป็น 120 μm รูปที่ 14 แสดงรูปด้านข้างของมอเตอร์จุลภาคที่มีชุดโรเตอร์ 3 เฟสอยู่ 4 ชุดด้วยกัน

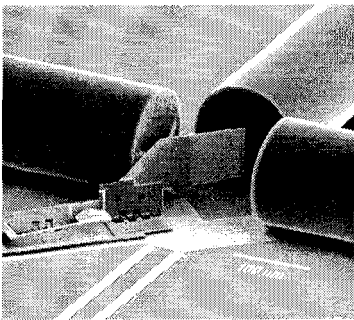


รูปที่ 13 มอเตอร์จุลภาคสร้างโดย Bley (1993)

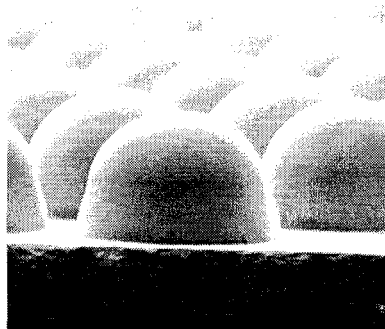


รูปที่ 14 มอเตอร์จุลภาคสร้างโดยกลุ่ม MCNC ในสหรัฐอเมริกา

3. ชั้นส่วนนำแสงจุลภาค (Micro-optical components) ชั้นส่วนเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นใช้ในอุตสาหกรรมทางการสื่อสารที่ต้องการส่งถ่ายสัญญาณที่มีความเร็วสูง ดังรูปที่ 15 แสดงสวิตช์นำแสงจุลภาค (Micro-optical switch) ทำโดยกระบวนการผลิตที่มีซิลิกอนเป็นวัสดุหลักสวิตช์เหล่านี้ใช้ในการบังคับการสะท้อนของแสงที่ส่งมาจากเส้นใยนำแสงซึ่งมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกดังในรูป ส่วนรูปที่ 16 แสดงถึงเลนส์จุลภาค (Microlenses) เลนส์เหล่านี้สามารถนำไปใช้ในเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์ เครื่องสแกนเนอร์ และเครื่องพิมพ์ได้หรืออาจอยู่ในรูปแบบเลนส์เดี่ยวที่ใช้ในงานประสาทศัลยกรรมศาสตร์ (neurosurgery)



รูปที่ 15 สวิตช์นำแสงจุลภาค [Hsu,2002]



รูปที่ 16 เลนส์จุลภาค

MEMS ถูกสร้างขึ้นมาอย่างไร

อาจกล่าวได้ว่า MEMS ถูกสร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยี 2 ส่วนหลักคือ เทคโนโลยีด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์ และเทคโนโลยีการขึ้นรูปจุลภาค (Micromachining) โดยกระบวนการพื้นฐานในการสร้าง MEMS แบ่งได้เป็น 3 กระบวนการคือ กระบวนการลิโทกราฟี (Lithography process) กระบวนการตกตะกอน (deposition process) และกระบวนการกัดขึ้นงาน (etching process) MEMS ส่วนใหญ่จะมี

ส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างโดยใช้วิธีการฉายแสง ที่เรียกว่าลิโทกราฟี ซึ่งเป็นกระบวนการเดียวกับการสร้างไมโครอิเล็กทรอนิกส์ในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน หากแต่ MEMS บางส่วนยังต้องอาศัยการขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งไม่ใช่การกลึง การเจาะ การเชื่อมที่ทำกันตามปกติ แต่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการขึ้นรูปจุลภาค (Micromachining) หรือเรียกโดยรวม ๆ ว่า เทคโนโลยีการสร้างและประกอบจุลภาค (microfabrication technologies หรือ micro-technologies) ยกตัวอย่างเช่น การสร้างชิ้นบาง ๆ ของวัสดุ โดยอาศัยเทคนิคการตกตะกอนแบบฟิล์มบาง (thin film deposition techniques) มาใช้ในการสร้างชิ้นวัสดุต่าง ๆ ลงบนวัสดุที่เป็นฐาน (base materials) เทคนิคการกัดชิ้นงาน (etching techniques) ได้ถูกนำมาใช้ในการผลิต MEMS ที่มีรูปร่างที่ซับซ้อนในสามมิติ การทำลิโทกราฟี และการสร้างฟิล์มบางให้เป็นโครงสร้างที่เพิ่มขึ้นทีละชั้นบาง ๆ บนแผ่นฐานทีละชั้น ๆ ทำให้ได้โครงสร้างที่มีรูปทรงในสามมิติ

ตลาดการค้าของ MEMS และระบบจุลภาคเป็นอย่างไร

จากตารางที่ 1 ซึ่งแสดงถึงตลาด MEMS ที่เติบโตขึ้นทุกปี จากผลการสำรวจตลาด ที่ทำขึ้นเมื่อปี 1999 เพื่อทำนายการขยายตัวของตลาด MEMS ถึงปี 2005 พบว่าตัวเลขการขยายตัวของตลาด MEMS ในปัจจุบันมีค่าเกินกว่าที่คาดการณ์ไว้มาก จากรายงานของบริษัท Research and Market โดย MegaTech Resources เมื่อมกราคมปี 2005 ได้คาดการณ์ว่ายอดขายทั่วโลกของ MEMS และ WIMS (Wireless Integrated Microsystems) ในปี 2009 จะสูงถึง 1 แสนล้านเหรียญ US\$

อุปกรณ์ MEMS และการประยุกต์ใช้งาน	1995	2001	2005
เครื่องมือวัดโดยหลักแรงเฉื่อย: Accelerometers และ rate gyros	450	800	1200
อุปกรณ์ที่ใช้หลักการไหลจุลภาค: เครื่องพิมพ์ Ink-Jet เซ็นเซอร์วัดมวลและอัตราการไหล	470	1550	1800
อุปกรณ์นำแสง : Optical switch จอแสดงผลภาพ	80	100	700
อุปกรณ์วัดความดัน: ยานยนต์ เครื่องมือแพทย์ เครื่องมืออุตสาหกรรม	0	40	80
เครื่องมือทำงานโดยคลื่นความถี่วิทยุ: ชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ อุปกรณ์เรดาร์	600	1300	1700
อุปกรณ์อื่นๆ: อุปกรณ์รีเลย์ เซ็นเซอร์ต่างๆ หัวอ่านดิสก์	700	1400	1800

ตารางที่ 1 ตารางแสดงการประมาณการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ MEMS (หน่วยเป็นล้านเหรียญ US\$)

บทสรุป

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะพบว่า MEMS และระบบจุลภาคเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในหลายสาขา วิศวกรรมเครื่องกลเกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างของ MEMS รวมถึงการออกแบบบรรจุภัณฑ์ วิศวกรรมไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับระบบต้นกำลังทางไฟฟ้าของ MEMS วงจรควบคุมการทำงานและประมวลผล องค์ประกอบจากวิศวกรรมเคมีในกระบวนการสร้างและการผลิต จุลภาค ความรู้ทางวัสดุวิศวกรรมในการเลือกวัสดุที่ใช้สร้าง MEMS อีกทั้งความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ เช่น ควอนตัมฟิสิกส์ พลาสมาฟิสิกส์ กฎการย่อขนาด หรือแม้กระทั่งวิทยาศาสตร์การแพทย์ก็มีส่วนเกี่ยวข้องด้วยกัน เทคโนโลยีการผลิต MEMS ดังนั้น MEMS จึงเป็นศาสตร์ที่สัมพันธ์กับหลายสาขาวิชาและเป็นเรื่องที่จะเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นเรื่อยๆ ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Bley, P. 1993. The LIGA process for Fabrication of Three-Dimensional Microscale Structures. **Interdisciplinary Science Reviews**. 18,3: 267-272.
- Bley, P. 1999. **An Excellent and Increasingly Used Material for Microsystems**. SPIE 1999 Symposium on Micromachining and Microfabrication. California: Santa Clara.
- Chronis, N. and Lee, L.P. 2004. **Polymer MEMS-Based Microgripper for Single Cell Manipulation**. 17th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems; Maastricht.
- Fatikow, S. and Rembold, U. 1997. **Microsystem Technology and Microrobotics**. Berlin: Springer.
- Gardner, J. W., et al. 2001. **Microsensors, MEMS and Smart Devices**. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Hsu, T. 2002. **MEMS & Microsystem: Design and Manufacture**. Boston: McGraw-Hill.
- Madou, M. 1997. **Fundamentals of Microfabrication**. New York: CRC Press.
- Senturia, S. D., 2001. **Microsystem design**. Massachusetts: Kluwer Academic.
- Chronis, N., **Electrothermally Activated SU-8 Microgripper for Single Cell Manipulation** [online] Available from: www.biopoems.berkeley.edu
- Lee S. W., et al. **Piezoresistive Pressure Sensor** [online] Available from: www.old.ajou.ac.kr/~mems/proj-PRESS1.htm
- Lee, Y. T., **Pressure sensor** [online] Available from: www.anuis.andong.ac.kr/~mems/frame.html
- MCNC MEMS page, **Rotary Side Drive Motor** [online] Available from: www.mems.mcnc.org
- Fraunhofer Institute for Silicon Technology, **Borosilicate Micro-Optics** [online] Available from: www.isit.fhg.de/english/mst/mikrooptik.html
- NIST, DARPA, Systems Planning Corporation, **MEMS Estimated Sales by Principal Technology Area** [online] Available from: www.old.ajou.ac.kr
- Sandia National Laboratories, **Micromachines** [online] Available from: www.mems.sandia.gov