MTEC
ENSTA

วัสดุแสนรู้

SMART MATERIALS

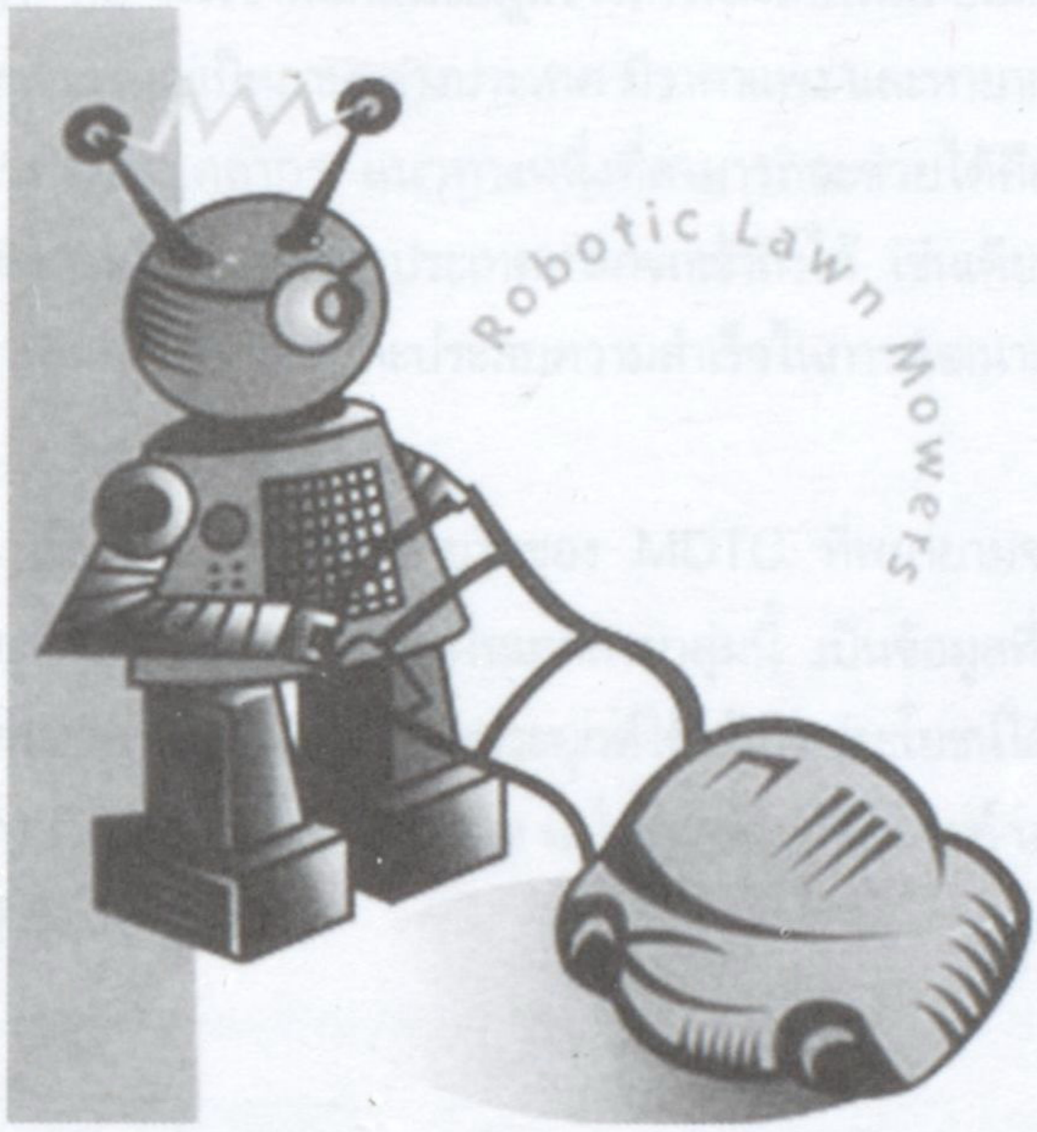
620.19
ส691ว
2543
ฉ.1

คโนโลยีการผลิตและการออกแบบ
คโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ศูนย์บริการความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Science and Technology Knowledge Services

วัสดุแสนรู้

SMART MATERIALS



B 3626 ฉ.1

Property of National Science and Technology Museum, Technology Service

วัสดุแสนรู้

QR Code by
RFID Lab NECTEC, STKS

620.19
ส169ว
2543
ฉ.1
034093

MANUFACTURING MDTC & DESIGN TECHNOLOGY CENTER

คำนำ

ข้อจำกัดที่สำคัญประการหนึ่ง ในการพัฒนาประเทศไทยไปสู่สังคมแห่งการเรียนรู้และสังคมแห่งปัญญา (Knowledge society) คือ การขาดแคลนข้อมูลข่าวสารทางเทคโนโลยีและข้อมูลอื่นๆ ที่ประชาชนทั่วไปจะสามารถเข้าถึงได้ ข้อมูลส่วนใหญ่เป็นภาษาต่างประเทศ มีราคาแพง และหายาก ทำให้ประเทศไทยเสียเปรียบประเทศอื่นๆ ในด้านการพัฒนาบุคลากร แนวทางหนึ่งที่สามารถจะช่วยได้คือ จัดทำข้อมูลเป็นภาษาไทยในราคาไม่แพง เพื่อให้ประชาชนส่วนใหญ่ของประเทศสามารถเข้าถึงได้ เช่นเดียวกับหลายประเทศ เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี เยอรมัน ที่ได้ดำเนินการดังกล่าวและประสบความสำเร็จในการพัฒนามาแล้ว

"วัสดุแสนรู้" เป็นหนึ่งในความพยายามของ MDTC ที่พยายามจะเผยแพร่ข้อมูลทางเทคโนโลยีในลักษณะดังกล่าวแก่ประชาชนทั่วไป ข้อมูลในเอกสารกลุ่มนี้ เป็นข้อมูลที่น่าสนใจเกี่ยวกับวัสดุกลุ่มหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษ มีศักยภาพที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างมากมาย MDTC หวังว่าข้อมูลเหล่านี้จะก่อให้เกิดการคิดและการศึกษาเพิ่มเติม นำไปสู่การคิดสร้างสรรค์ นวัตกรรม และสามารถประยุกต์ให้เกิดประโยชน์ใช้งานได้จริงในที่สุด

ปัญญา ศรีจันทร์
ผอ.MDTC

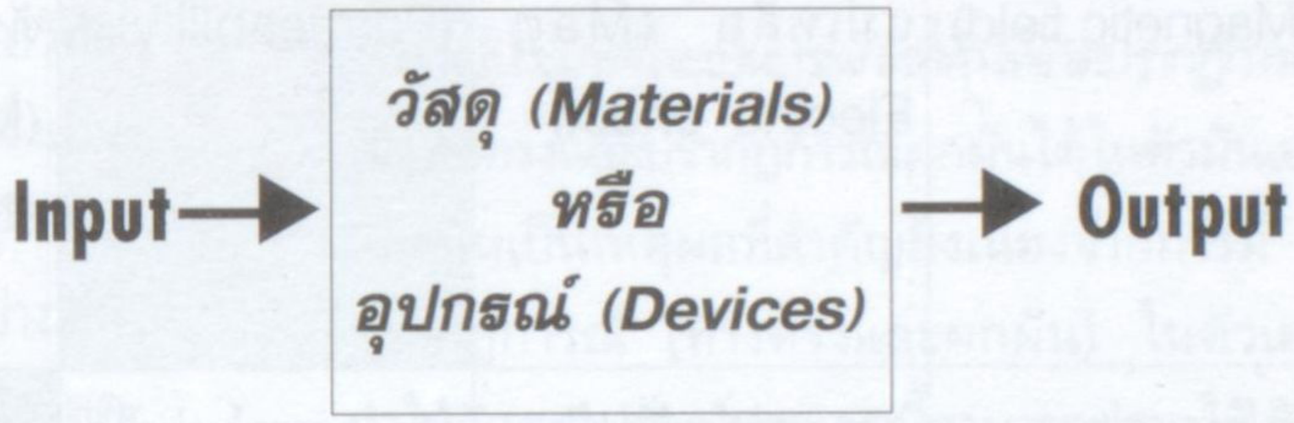
สารบาญ

รายการ	หน้า
1. วัสดุแสนรู้ (SMART MATERIALS)	1
2. เซ็นเซอร์ (SENSOR)	5
3. เอคชูเอเตอร์ (ACTUATOR)	13
3.1 Ferroic Crystal	17
3.2 Ferroelectric	17
3.3 Piezoelectric	20
3.4 Electrostrictive materials	22
3.5 Shape memory alloys	24
3.6 Magnetostrictive materials	28
3.7 Photostrictive materials	29
3.8 Chemostriction	30

วัสดุแสนรู้ (SMART MATERIALS)

เมื่อเรายังเป็นเด็กเล็กอยู่นั้น มีคำหนึ่ง ๆ ซึ่งผู้ใหญ่มักเรียกเด็กเล็ก ๆ ที่ฉลาดเกินวัยหรือแม้แต่ใช้เรียกสัตว์เลี้ยงที่มีความฉลาดเสียเหลือเกิน คำนั้นคือ "แสนรู้" ท่านเชื่อหรือไม่ว่าปัจจุบันคำว่า "แสนรู้" นั้นยังถูกนำมาใช้กับสิ่งไม่มีชีวิตประเภทวัสดุ/อุปกรณ์ด้วยเหตุผลอย่างเดียวกันคือ วัสดุ/อุปกรณ์นั้นสามารถนำมาประยุกต์ในการใช้งานต่าง ๆ ได้อย่างไม่น่าเชื่อ หรือพูดสั้น ๆ ว่า วัสดุ/อุปกรณ์นั้นมีความฉลาดจริง

ก่อนที่จะลงในรายละเอียดของคำว่า "Smart Materials" ควรจะต้องรู้ถึงคำว่า "Smart" ของวัสดุนั้นว่าแบ่งกันอย่างไร โดยเริ่มจากการเรียกสิ่งที่ให้กับวัสดุ/อุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุแสนรู้ (smart materials or devices) ว่า "Input" และผลที่ได้รับเมื่อ Input นั้นกระทำต่อวัสดุ/อุปกรณ์เรียกว่า "Output" โดยสามารถวาด เป็น Diagram ง่าย ๆ ได้ดังนี้

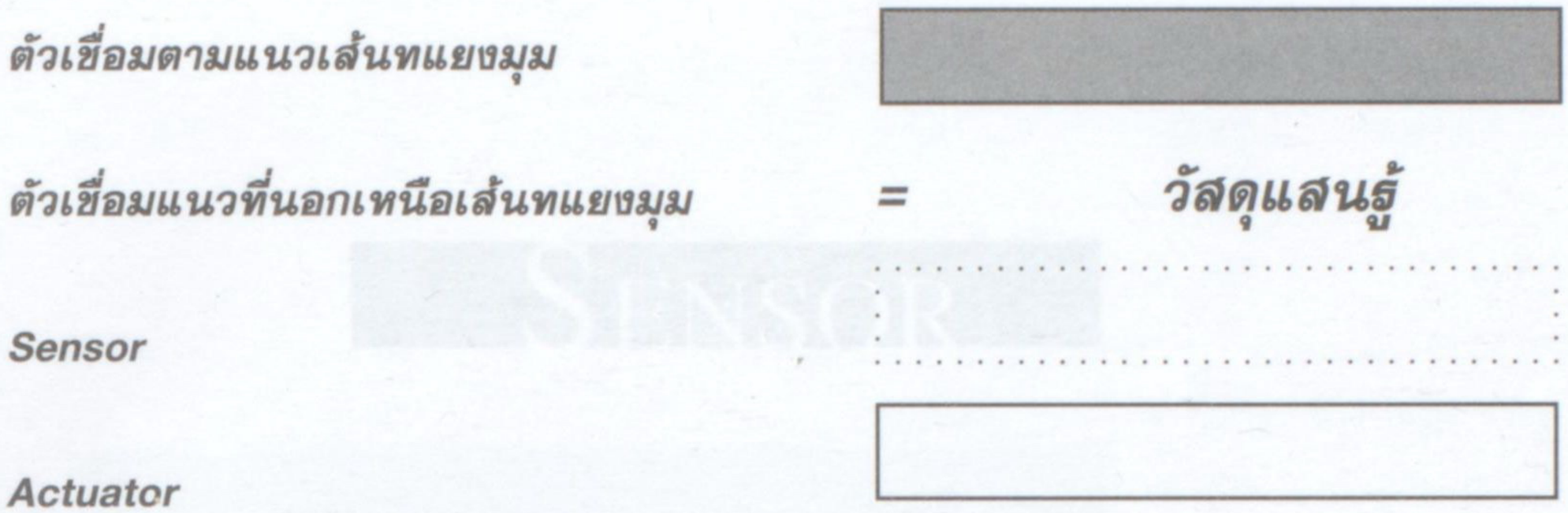


จาก Diagram ข้างต้นจะเห็นว่า Input ที่ให้กับ วัสดุ/อุปกรณ์นั้นมีรูปแบบต่าง ๆ กัน หาก Input เป็นสนามไฟฟ้า (Electric field) สนามแม่เหล็ก (Magnetic field) ความเค้น หรือหน่วยแรง (Stress) ผล Output ที่ได้คือ ประจุไฟฟ้า/กระแสไฟฟ้า (charge/current) ความเป็นแม่เหล็ก (magnetization) ความเครียด (strain) ตามลำดับ เป็นต้น

จากข้างต้นสามารถนำมาสรุปเป็นตารางแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง Input ที่ให้กับวัสดุ/อุปกรณ์ กับ Output ที่ได้รับ ดังปรากฏในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Input ที่ให้กับวัสดุ/อุปกรณ์ และ Output ที่ได้รับ

Output / Input	ประจุไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า (charge/current)	อำนาจแม่เหล็ก (Magnetization)	ความเครียด (Strain)	อุณหภูมิ (Temperature)	ความสว่าง (Light)
สนามไฟฟ้า (Electric field)	สภาพการนำไฟฟ้า (Permittivity Conductivity)	ปรากฏการณ์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromag-netic effect)	การแปรผันปรากฏการณ์ไฟฟ้าแรงดัน (Converse-piezoelec-tric effect)	ค่าความร้อนไฟฟ้า (Elec. caloric constant)	ปรากฏการณ์เปลี่ยนดัชนีหักเหด้วยสนามไฟฟ้า (Elec. Optic effect)
สนามแม่เหล็ก (Magnetic field)	ปรากฏการณ์ไฟฟ้าแม่เหล็ก (Mag. Electric effect)	ความซาบซึมได้ (Permeability)	การอัด/ยืดตัวแม่เหล็ก (Magneto-striction)	ปรากฏการณ์ความร้อนแม่เหล็ก (Mag. Caloric effect)	ปรากฏการณ์เปลี่ยนดัชนีหักเหด้วยสนามแม่เหล็ก(Mag. Optic effect)
หน่วยแรง/ความเค้น (Stress)	ปรากฏการณ์ไฟฟ้าแรงดัน (Piezo-electric effect)	ปรากฏการณ์แม่เหล็กแรงดัน (Piezo-magnetic effect)	ค่าความยืดหยุ่น (Elastic constant)	-	ปรากฏการณ์เปลี่ยนความยืดหยุ่นด้วยแสง (Photoelastic effect)
ความร้อน (Heat)	ปรากฏการณ์ไฟฟ้าความร้อน (Pyro-electric effect)	-	การขยายตัวทางความร้อน (Thermal expansion)	ความร้อนจำเพาะ (Specific heat)	-
แสง (Light)	ปรากฏการณ์แสงขับเคลื่อนไฟฟ้า (Photovoltaic ef-fect)	-	ปรากฏการณ์การอัด/ยืดตัวเนื่องจากแสง (Photostriction)	-	ดัชนีหักเห (Refractive Index)



ตารางที่ 1 สามารถนำมาใช้ในการแยกประเภทของ วัสดุ/อุปกรณ์ ว่าวัสดุใดเป็นวัสดุธรรมดาทั่วๆไป (trivial materials) และประเภทใดเป็นวัสดุแสนรู้ (smart materials) ตลอดจนวัสดุ/อุปกรณ์ใดที่สามารถ นำมาใช้เป็น Sensor หรือนำมาใช้เป็น Actuator

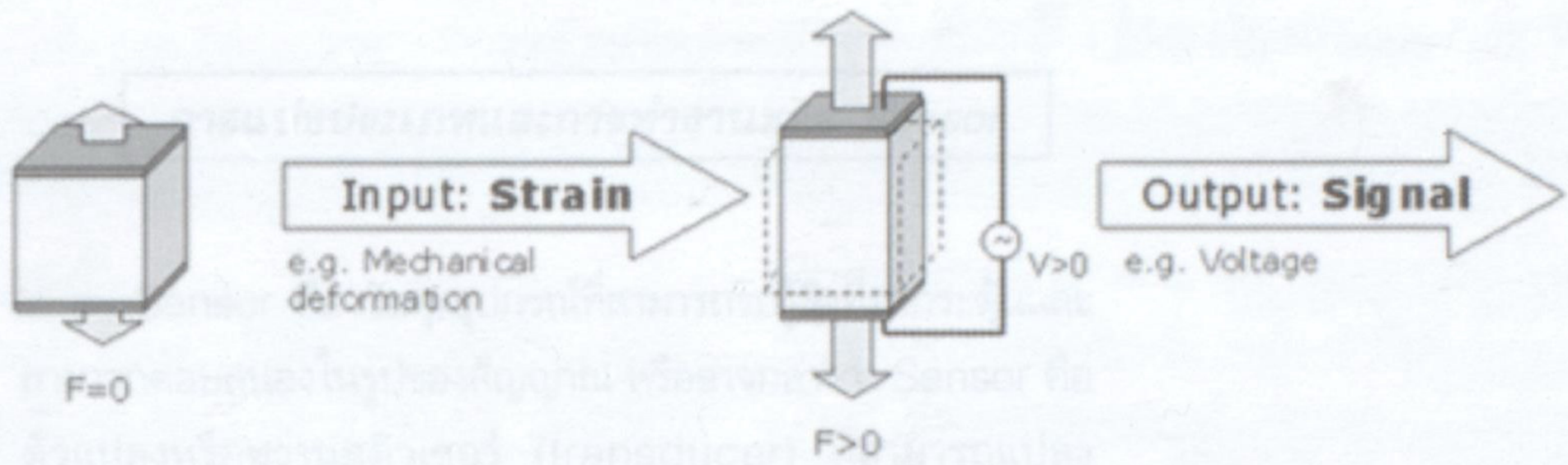
ในการแบ่งประเภทของวัสดุชนิดธรรมดา และวัสดุแสนรู้ สามารถทำได้โดยพิจารณาจากวัสดุที่มีคุณสมบัติตามตัวเชื่อม (coupling effect) แนวเส้นทแยงมุมของตารางที่1 หรือตามรอยแรเงา โดยวัสดุประเภทดังกล่าวจัดเป็น “trivial materials” ซึ่งเป็นวัสดุที่ให้ Output เป็นปรากฏการณ์ธรรมดาที่รู้จักกันโดยทั่วไปเมื่อให้ Input เข้าไปในวัสดุนั้น ตัวอย่างเช่น วัสดุที่เป็นตัวนำ (conducting materials) หรือวัสดุที่มีความยืดหยุ่น (elastic materials) เป็น trivial materials เนื่องจากวัสดุประเภทตัวนำจะสามารถให้กระแสไฟฟ้าเมื่อให้สนามไฟฟ้า และวัสดุยืดหยุ่นจะสามารถให้ความเครียดเมื่อให้ความเค้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นปรากฏการณ์ทั่วไปซึ่งเป็นที่รู้จักกัน อย่างดี (well-known phenomena) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปรากฏการณ์ตามตัวเชื่อมแนวที่ นอกเหนือจากเส้นทแยงมุม (off-diagonal) ในตารางที่ 1 ตัวอย่างเช่น ปรากฏการณ์ไฟฟ้าความร้อน หรือปรากฏการณ์ไฟฟ้าแรงดัน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ให้กระแสไฟฟ้าเมื่อได้รับความร้อนและความเค้น ปรากฏการณ์ทั้งสองเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่ธรรมดาซึ่งเราคาดไม่ถึง (unexpected phenomena) และวัสดุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ ดังกล่าวเรียกว่า ***“วัสดุแสนรู้”*** หรือ ***“Smart Materials”***

ดังนั้นวัสดุหรืออุปกรณ์ใดก็ตามที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ตัวเชื่อมร่วมที่อยู่ในแนว off-diagonal ทั้งหมดของตารางที่ 1 จัดว่าเป็นวัสดุ/อุปกรณ์ที่มีความแสนรู้ หากสังเกตตารางที่ 1 จะพบว่าวัสดุ/อุปกรณ์ประเภทนี้จะเป็นประเภทที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ทั้งทางตรงและปรากฏการณ์ผกผันได้ในตัวมันเอง และนั่นเป็นเหตุผลที่สำคัญยิ่งเนื่องจากการมี 2 ปรากฏการณ์ (ทางตรงและผกผัน) ในตัวเอง ทำให้วัสดุ/อุปกรณ์ประเภทนี้สามารถนำมาใช้เป็น Sensor และ Actuator ได้ในตัวเดียวกัน ตัวอย่างเช่น ปรากฏการณ์ไฟฟ้าแรงดันซึ่งเป็นปรากฏการณ์โดยตรง และปรากฏการณ์แรงดันไฟฟ้าก็จะเป็นปรากฏการณ์ผกผันของไฟฟ้าแรงดัน เป็นต้น

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นการจำแนกประเภทวัสดุ/อุปกรณ์ ที่เรียกว่า smart และ trivial materials/devices อย่างเข้าใจง่ายๆ

Sensor + Actuators
=
Smart materials

SENSOR

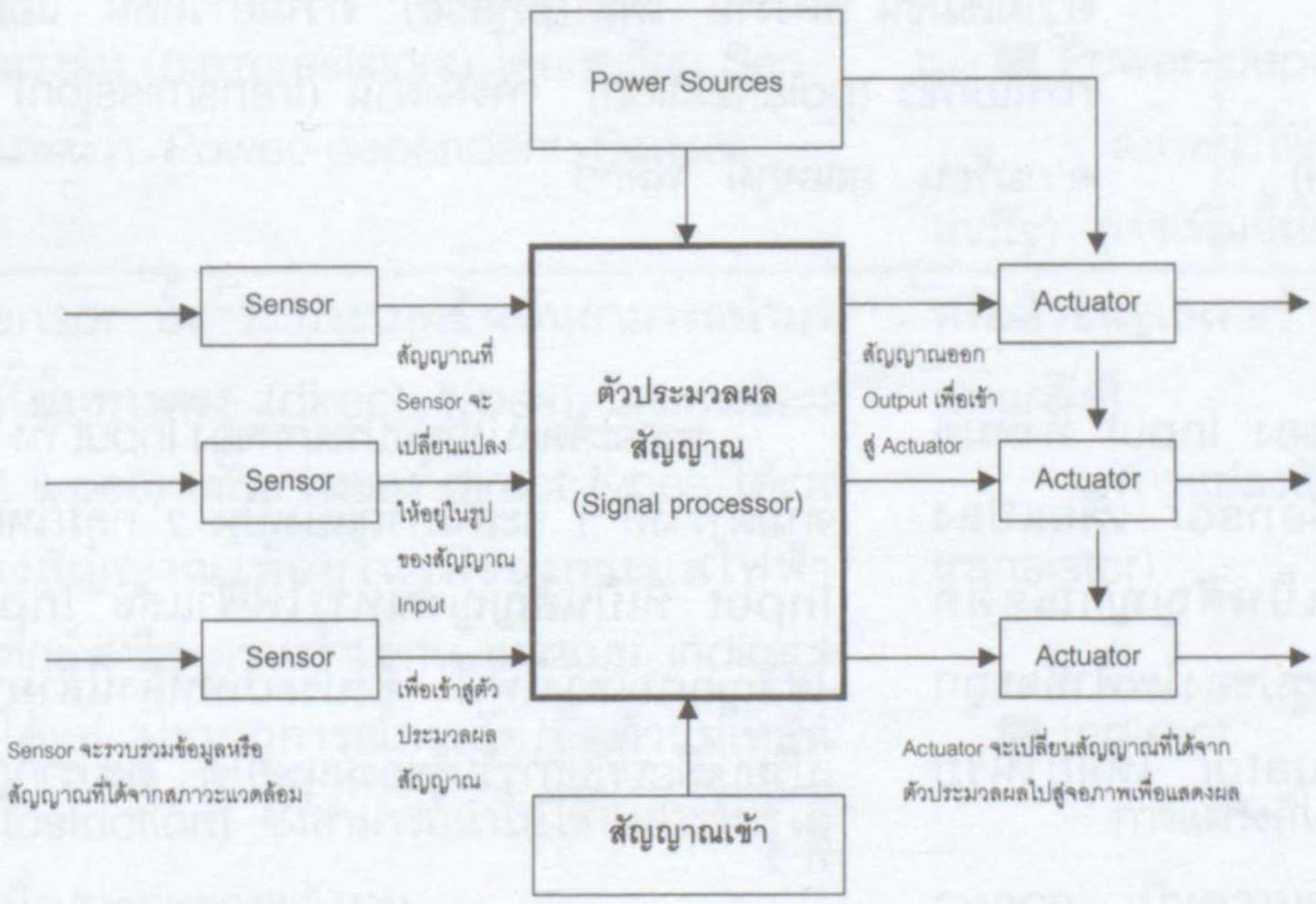

Input: **Strain**
e.g. Mechanical deformation
F=0
F>0
V>0
Output: **Signal**
e.g. Voltage

เซ็นเซอร์ (SENSOR)

การแบ่งประเภทและการทำงานของ Sensor

Sensor คือ วัสดุ/อุปกรณ์ที่สามารถรับรู้สิ่งที่มากระตุ้นและสามารถตอบสนองในรูปของสัญญาณ หรืออาจกล่าวว่า Sensor คือ ตัวแปลงหรือทรานสดิวเซอร์ (transducer) ที่สามารถแปลงรูปแบบของ Input ที่ถูกใส่เข้ามาให้อยู่ในรูปที่จะมีประโยชน์ต่อกรรมวิธีการใช้งานหรือการประมวลผล สำหรับ Actuator คือ ตัวที่ใช้สัญญาณนั้น ๆ มาทำให้เกิด การขับเคลื่อนหรือการเคลื่อนไหว

ความสัมพันธ์ระหว่าง Sensor และ Actuator สามารถเขียนได้ดังปรากฏในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Sensor และ Actuator

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าเมื่อ Sensor รับสัญญาณที่ได้จะนำเข้าไปแปลงเป็นสัญญาณที่พร้อมจะนำส่งเข้าสู่ตัวประมวลผลสัญญาณ (Signal processor หรือ Signal modifier) โดยตัวประมวลผลสัญญาณจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณ Input ไปสู่สัญญาณออก Output ที่เหมาะสมโดยการขยาย (amplification) หรือการกรอง (filtering) สัญญาณและนำเข้าสู่ Actuator เพื่อนำไปแสดงผลในจอภาพต่อไป

รูปแบบของ "Input" ที่ให้กับ Sensor หรือที่ Sensor สามารถตอบสนองได้ สามารถ จำแนกได้เป็นประเภทใหญ่ๆได้ 6 ประเภท ดังปรากฏ ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทของ Input ที่ Sensor สามารถตอบสนอง

Input	ตัวอย่างของคุณสมบัติที่ Sensor สามารถประมวลผล .
พลังงานจากปฏิกิริยาเคมี (Chemical)	ความเข้มข้น อัตราการเกิดปฏิกิริยา ความต่างศักย์ ปฏิกิริยารีดอกซ์ คุณสมบัติทางชีวภาพ
พลังงานไฟฟ้า (Electrical)	กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ ความต้านทาน ความนำไฟฟ้า ความถี่
พลังงานแม่เหล็ก (Magnetic)	ความเข้มแม่หล็ก โมเมนต์ (moment) ความซาบซึมได้ (permeability) ความหนาแน่น ฟลักซ์ (flux)
พลังงานกล (Mechanical)	ตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง แรง ความเค้น ความดัน ความเครียด การไหล มวล ความหนาแน่น โมเมนต์ (moment) ทอร์ก (torque) รูปร่าง ความเรียบผิว (roughness) ทิศทางการเรียงตัว (orientation) ความหนืด
การแผ่รังสี (Radiant)	ความเข้มข้น พลังงาน เฟส (phase) ความยาวคลื่น แอมพลิจูด การแยกขั้ว (polarization) การส่งผ่าน (transmission)
พลังงานความร้อน (Thermal)	ความร้อน อุณหภูมิ ฟลักซ์

หลักการทำงานคือประเภทของ Input ทั้งหมดจะใช้เป็นสัญญาณเข้าให้กับ Sensor เพื่อแปลงสัญญาณดังกล่าวให้ออกมาเป็นสัญญาณออก ซึ่งส่วนใหญ่ Output จะอยู่ในรูปของไฟฟ้าที่จะถูกแปลงสัญญาณต่อโดยตัว Actuator ให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมกับการใช้งาน

หากจะจัดแบ่งกลุ่มประเภทของ Input ทั้ง 6 ประเภทตามตารางที่ 1 จะสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ Input ที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและ Input ที่ไม่ใช่สัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งประเภทหลังนี้สามารถนำมาเปรียบเทียบกับการรับรู้ของมนุษย์ได้ ดังปรากฏในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบการรับรู้ของ Sensor กับการรับรู้ของมนุษย์ เมื่อ Input ไม่ใช่สัญญาณทางไฟฟ้า

รูปแบบของ Input	การรับรู้โดยมนุษย์
พลังงานจากปฏิกิริยาเคมี	ดม ชิม
พลังงานจากสนามแม่เหล็ก	-
พลังงานกล	ได้ยิน สัมผัส
การแผ่รังสี	มองเห็น สัมผัส
พลังงานความร้อน	สัมผัส

นอกจากนี้คุณสมบัติของวัสดุยังเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการจัดแบ่งประเภทของ Sensor ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ขึ้นกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำ Sensor นั้น ดังนี้

1. Sensor ที่สามารถให้สัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณออกโดยไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังช่วย (auxiliary energy source) ตัวอย่างของ Sensor ประเภทนี้ได้แก่ เซลล์สุริยะ (solar cell) และตัวอ่านอุณหภูมิ (thermocouples) โดยเราเรียก Sensor ประเภทนี้ว่า Self-sustaining Sensor

2. Sensor ที่สามารถเปลี่ยนแปลง Input ที่ไม่ใช่สัญญาณไฟฟ้าไปสู่สัญญาณไฟฟ้าโดยการใช้ auxiliary energy source ตัวอย่าง Sensor ประเภทนี้ได้แก่ ตัวเกจวัดความเครียด (strain gauges) และตัวต้านทานไฟฟ้าแรงดัน (piezoresistors) โดยเราเรียก Sensor ประเภทนี้ว่า Power-dependent Sensor

Sensor ทั้ง 2 ประเภทข้างต้นสามารถนำมาใช้งานได้ทั้งในทางตรง (direct types) และทางอ้อม (indirect types) ตัวอย่างของ direct types ได้แก่ การแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ หรือ ความต้านทาน และแบบ indirect types ได้แก่ ปรากฏการณ์การอัด/ยืดตัวแม่เหล็ก (magnetostriction) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการรับรู้ได้มากกว่าหนึ่งประเภทของพลังงาน

การแผ่รังสี (Radiant energy)

การแผ่รังสีเกิดจากการตกกระทบของโฟตอนหรืออนุภาคนิวเคลียร์บนวัสดุโดยสามารถวัดการแผ่รังสีจากความเข้มข้นของลำรังสี (beam of radiation) ความยาวคลื่น เฟส และโพลาไรเซชั่น ทั้งนี้ผลที่เกิดขึ้นทั้งแบบ direct และ indirect types เมื่อ Sensor แต่ละประเภทรับ Input ประเภทนี้ มีดังนี้

■ Self-sustaining Direct

- ปรากฏการณ์แสงขับเคลื่อนไฟฟ้า (Photovoltaic effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ให้ความต่างศักย์เมื่อมีแสงมาตกกระทบ ปรากฏการณ์ดังกล่าวพบโดยทั่วไปบริเวณจังก์ชั่นของวัสดุที่แตกต่างกัน 2 ชนิด เช่น สารกึ่งตัวนำประเภทจังก์ชั่น p-n (p-n junction)

■ Power-dependent Direct

- สภาพนำไฟฟ้าพลังงานแสง (Photoconductivity) การเพิ่มขึ้นของการนำไฟฟ้าเมื่อสารกึ่งตัวนำหรือตัวอินซูเลเตอร์ (Insulators) ถูกส่องสว่างจากการแผ่รังสี

- การแปลงสัญญาณโดยพลังงานแสง (Photo transistor)

■ Indirect

- การแผ่รังสีโดยพลังงานแสง (Photoluminescence) เป็นความสามารถของวัสดุในการแผ่รังสีเมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำส่องกระทบ

- การเปลี่ยนแปลงทางเคมีเนื่องจากแสง (Photochemical effect) คือปรากฏการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นในวัสดุเมื่อวัสดุนั้นถูกแสงที่ได้จากการแผ่รังสีส่องกระทบ

พลังงานกล (Mechanical Energy)

พลังงานกลเป็น Input ประเภทหนึ่งที่ให้ Sensor โดย Sensor จะสามารถตอบสนองได้ในรูปของการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งหรืออัตราการเร่ง (acceleration) และแรง (force)

● Self-sustaining Direct

- Piezoelectric effect หรือปรากฏการณ์ไฟฟ้าแรงดัน โดยวัสดุจะสามารถให้กระแสไฟฟ้าได้เมื่อมีแรงมากระทำ ปรากฏการณ์ ดังกล่าวเกิดขึ้นในวัสดุที่มีโครงสร้างผลึกแบบไม่สมดุล (non-centro symmetry)

● Power-dependent Direct

- Piezo-resistance เป็นการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับแรงมากระทำ

● Indirect

- Magnetostriction เป็นการเปลี่ยนแปลงในความเป็นแม่เหล็ก (magnetization) ในวัสดุบางประเภท เมื่อวัสดุนั้นได้รับแรงมากระทำ

พลังงานความร้อน (Thermal Energy)

▶ Self-sustaining Direct

- Seebeck effect เป็นปรากฏการณ์ที่วัสดุให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

- Pyroelectric effect เป็นการเปลี่ยนแปลงในโพลาไรเซชั่นของสาร piezoelectric เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

▶ Power-dependent Direct

- ปรากฏการณ์ที่การนำไฟฟ้าเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป (Temperature dependence of conductivity) ตัวอย่างเช่น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการนำไฟฟ้าของโลหะจะต่ำลงในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำและสารอินซูเลเตอร์จะเพิ่มขึ้นทั้งนี้ที่อุณหภูมิหนึ่งค่าความต้านทานไฟฟ้าของสารตัวนำยิ่งยวดจะเป็นศูนย์

- ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงค่าไดอิเลคทริกไปกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (Thermodielectric effect)

พลังงานจากสนามแม่เหล็ก (Magnetic Energy)

▮ Power-dependent Direct

- Magnetoresistance เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าเมื่อวัสดุนั้นได้รับสนามแม่เหล็ก

▮ Indirect

- Magnetostriction เป็นการเกิดความเครียด หรือการเปลี่ยนรูปของวัสดุเมื่อได้รับสนามแม่เหล็ก

พลังงานจากปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Energy)

★ Self-sustaining Direct

- Galvanic effect คือ ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นสามารถวัดได้ระหว่างโลหะ 2 ประเภทที่เชื่อมต่อกันด้วยอิเลคโทรด

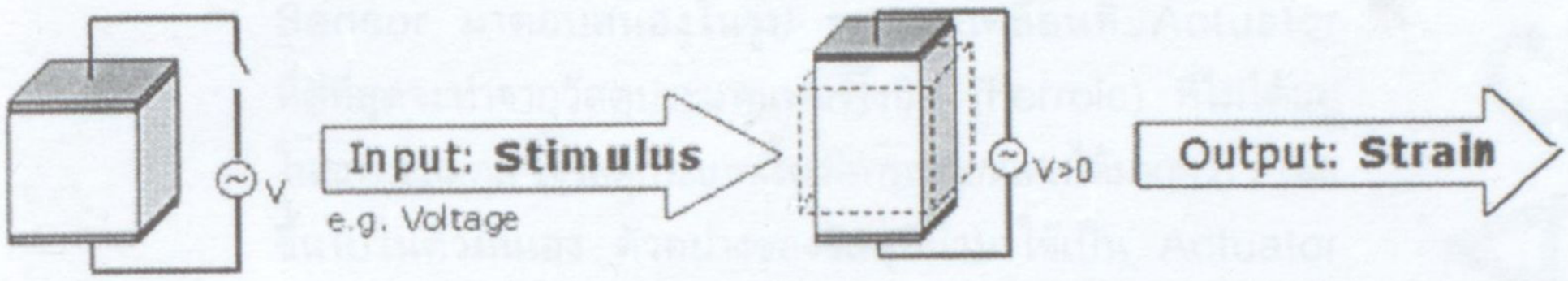
★ Power-dependent Direct

- การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ไดอิเลคทริก (dielectric constant) เมื่อมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น (Chemical dielectric effect) เช่น เมื่อแท่งโลหะสัมผัสกับก๊าซหรือของเหลว

- การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าเมื่อมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น (Chemical electric effect) เช่น เมื่อแท่งโลหะสัมผัสกับก๊าซหรือของเหลว ทำให้บริเวณพื้นผิวของแท่งโลหะนั้นมีค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป

- ปรากฏการณ์การเปลี่ยนสีด้วยปฏิกริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochromism effect)

ACTUATOR



แอคชูเอเตอร์ (Actuator)

Actuator คือ วัสดุที่ใช้ทำให้เกิดการ ขับเคลื่อนหรือเคลื่อนไหว โดยทั่วไปใช้คู่กับ Sensor โดย Actuator จะนำสัญญาณจาก Sensor มาตอบสนองในรูป ของการเคลื่อนที่ Actuator ที่ดีที่สุดจะทำจากวัสดุประเภทเฟอร์โรอิค (Ferroic) ที่ไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งวัสดุประเภทนี้จะมีการเปลี่ยนเฟสได้มากกว่า 2 เฟส ขึ้นไปในตัวมันเอง ตัวอย่างของวัสดุที่นำมาใช้เป็น Actuator ที่ดีแบ่งได้เป็น 7 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. วัสดุไฟฟ้าแรงดันหรือ piezoelectric ของสารประกอบ เลด เซอร์โคเนต ไททาเนต (Piezoelectric PZT), ($Pb(Zr, Ti)O_3$) ซึ่งสามารถ เปลี่ยนเฟสจาก Cubic ไปเป็น Tetragonal และไปเป็น Rhombohedral ได้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

Cubic ⟷ Tetragonal ⟷ Rhombohedral

2. วัสดุยืดตัวไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น สารประกอบ เลด แมกนีเซียม ไนโอเบียม (Electrostrictive PMN , ($Pb(Mg, Nb)O_3$) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเฟสจาก

Disordered cubic ⟶ Ordered cubic ⟶ Rhombohedral

3. โลหะจำรูป (Shape Memory Alloys) ประเภท NiTi ซึ่งสามารถเปลี่ยนเฟสจาก

Disordered cubic ⟶ Ordered cubic ⟶ Tetragonal/ Monoclinic/ Rhombohedral

620.19
ส191ว
2543
ค.1
034013

4. วัสดุอัด/ยืดตัวแม่เหล็ก (Magnetostrictive) ตัวอย่างเช่น (Tb, Dy) Fe_2 ซึ่งสามารถเปลี่ยนเฟสจาก

Cubic ⟶ Rhombohedral ⟷ Tetragonal

5. วัสดุเปลี่ยนเฟสประเภท Perovskite ตัวอย่างเช่น สารประกอบ เลด เซอร์โคเนต ไททาเนต PZT ซึ่งสามารถเปลี่ยนเฟสจาก

Paraelectric ⟶ Antiferroelectric ⟷ Ferroelectric

6. วัสดุอัด/ยืดตัวโดยพลังงานแสง ตัวอย่างเช่น สารประกอบออกไซด์ เลด แลนทานัม เซอร์โคเนต ไททาเนต (Photostrictive PLZT ((Pb , La) (Zr , Ti) O_3) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเฟสจาก

Paraelectric ⟶ Ferroelectric ⟷ Ferroelectric
(insulator) (conductor)

7. วัสดุอัด/ยืดตัวด้วยเคมีประเภทโพลิเมอร์ (Chemostrictive Polymer) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเฟสจาก

Hydrated sol ⟶ Dehydrated gel ⟷ Partially hydrated gel

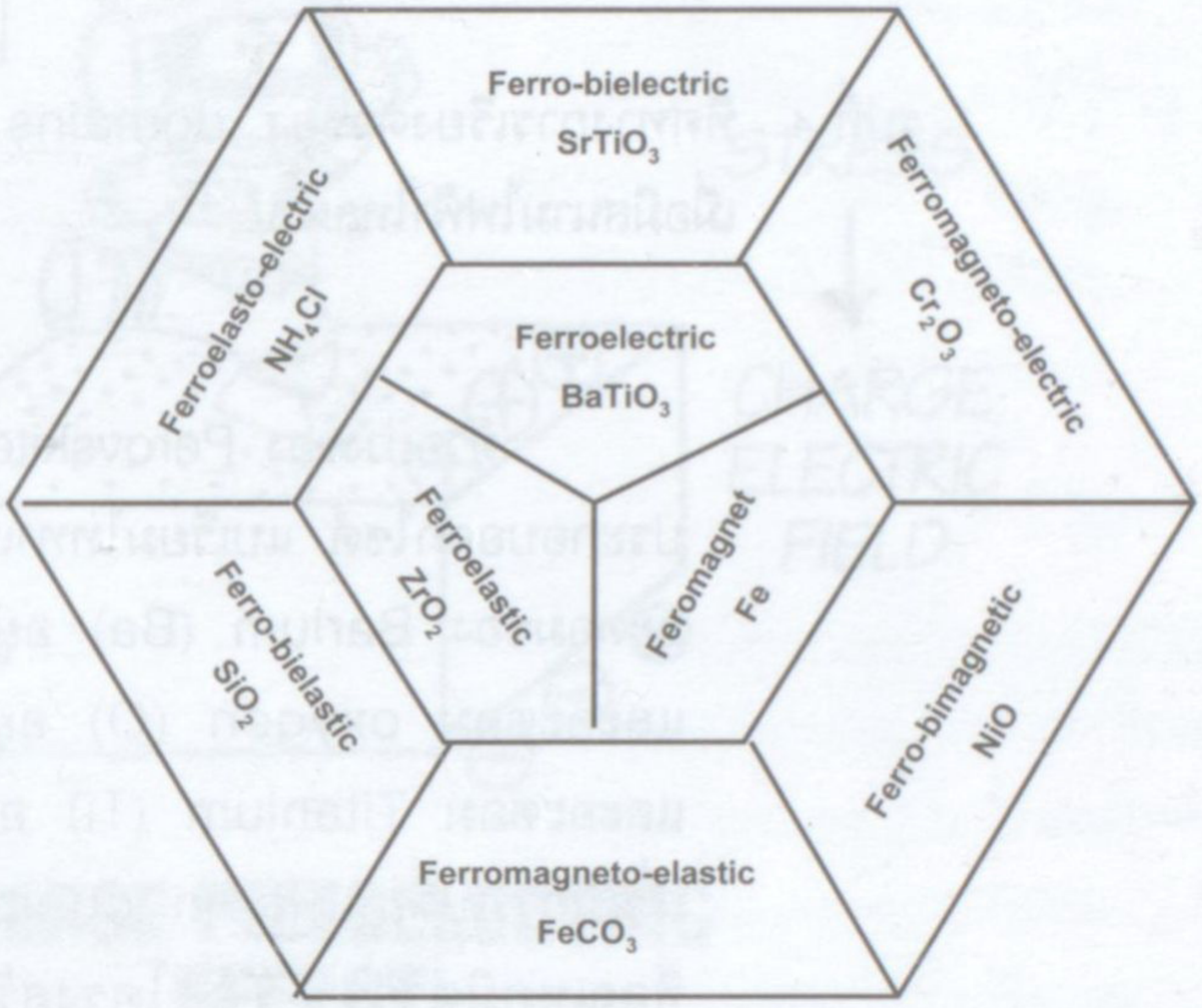
เมื่อพิจารณาจากวัสดุทั้ง 7 ประเภท ที่นำมาใช้เป็น Actuator จะพบว่าสามารถแบ่งได้ตามประเภทของพลังงานที่ทำให้เกิดการขับเคลื่อนหรือเกิดการตอบสนองได้ดังนี้

1. ประเภทที่ใช้พลังงานความร้อนเป็นตัวขับเคลื่อน (Thermal Drive) ได้แก่
   - Martensitic NiTinol (NiTi)
2. ประเภทที่ใช้พลังงานแม่เหล็กเป็นตัวขับเคลื่อน (Magnetic Drive) ได้แก่
   - วัสดุอัด/ยืดตัวแม่เหล็ก Magnetostrictive Terfenol (Tb, Dy) Fe_2
3. ประเภทที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน (Electrical Drive) ได้แก่
   - วัสดุไฟฟ้าแรงดันของสารประกอบออกไซด์ เลด เซอร์โคเนต ไททาเนต (Piezoelectric PZT)
   - วัสดุยืดตัวไฟฟ้าประเภทสารประกอบออกไซด์ เลด แมกนีเซียม ไนโอเบียม (Electrostrictive PMN)

ทั้งนี้จะได้อธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับวัสดุแต่ละประเภทดังต่อไปนี้

Ferroic Crystals

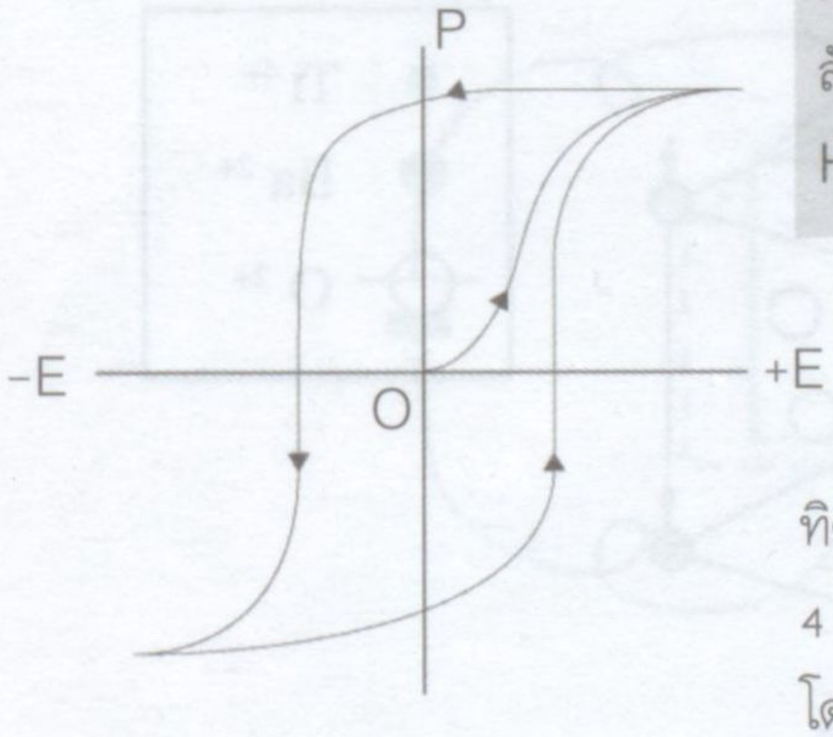
Ferroic Crystals สามารถแบ่งออกได้เป็นผลึกปฐมภูมิ (Primary Crystals) 3 ประเภทและผลึกทุติยภูมิ (Secondary Crystals) 6 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงถึงการจัดแบ่งประเภทของผลึกทั้ง 2 ประเภท Ferroelectric เป็นหนึ่งในผลึกปฐมภูมิที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการนำมาใช้เป็น Sensor และ Actuator



รูปที่ 2
Ferroic Crystal และการจัดแบ่ง ประเภทเป็น Primary และ Secondary Crystals

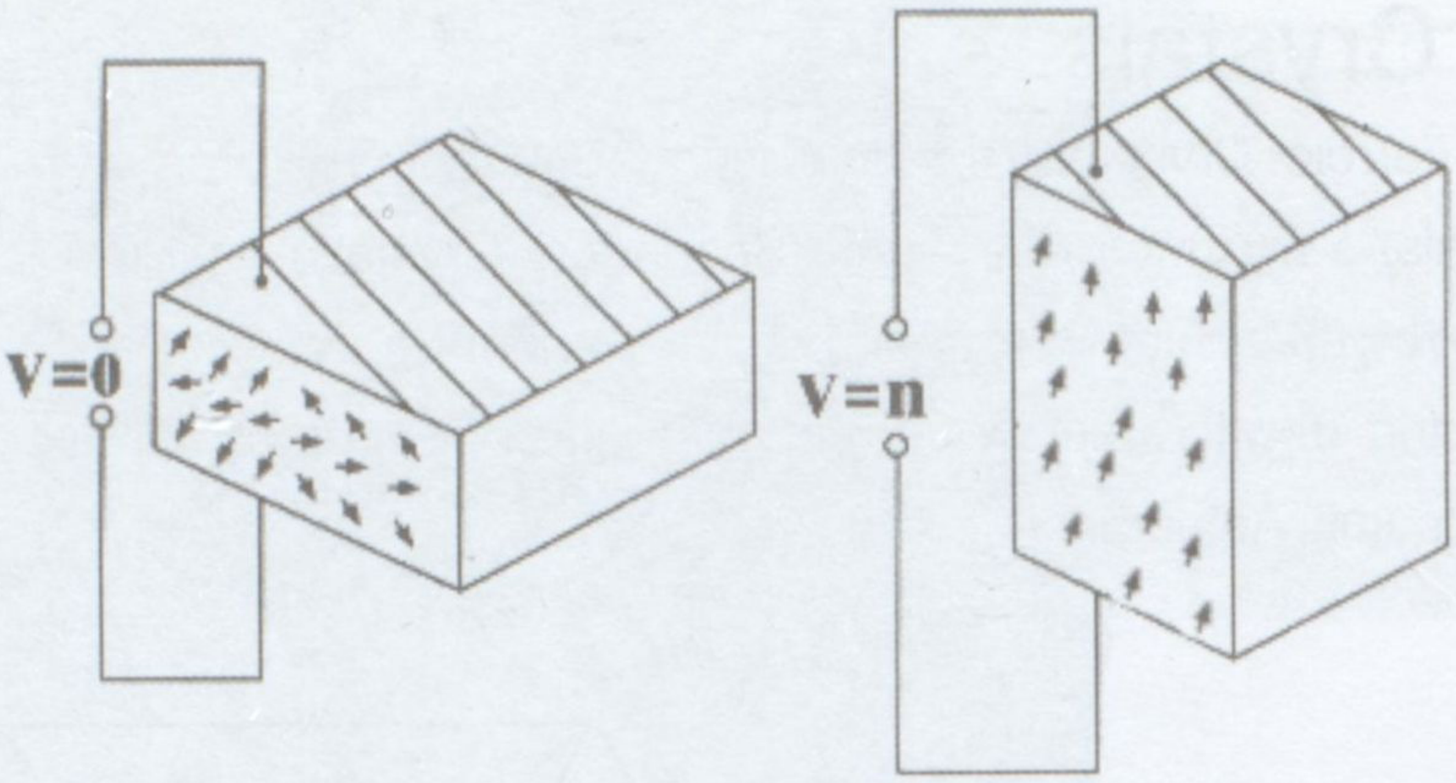
Ferroelectric

Ferroelectric คือ วัสดุที่สามารถเปลี่ยนทิศทางโพลาไรเซชั่น (Polarization) เมื่อให้สนามไฟฟ้าที่มากเพียงพอ ดังนั้นเมื่อวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโพลาไรเซชั่น (P) กับสนามไฟฟ้า (E) จะได้รูปกราฟในลักษณะของ Hysteresis Loop ดังแสดงในรูปที่ 3



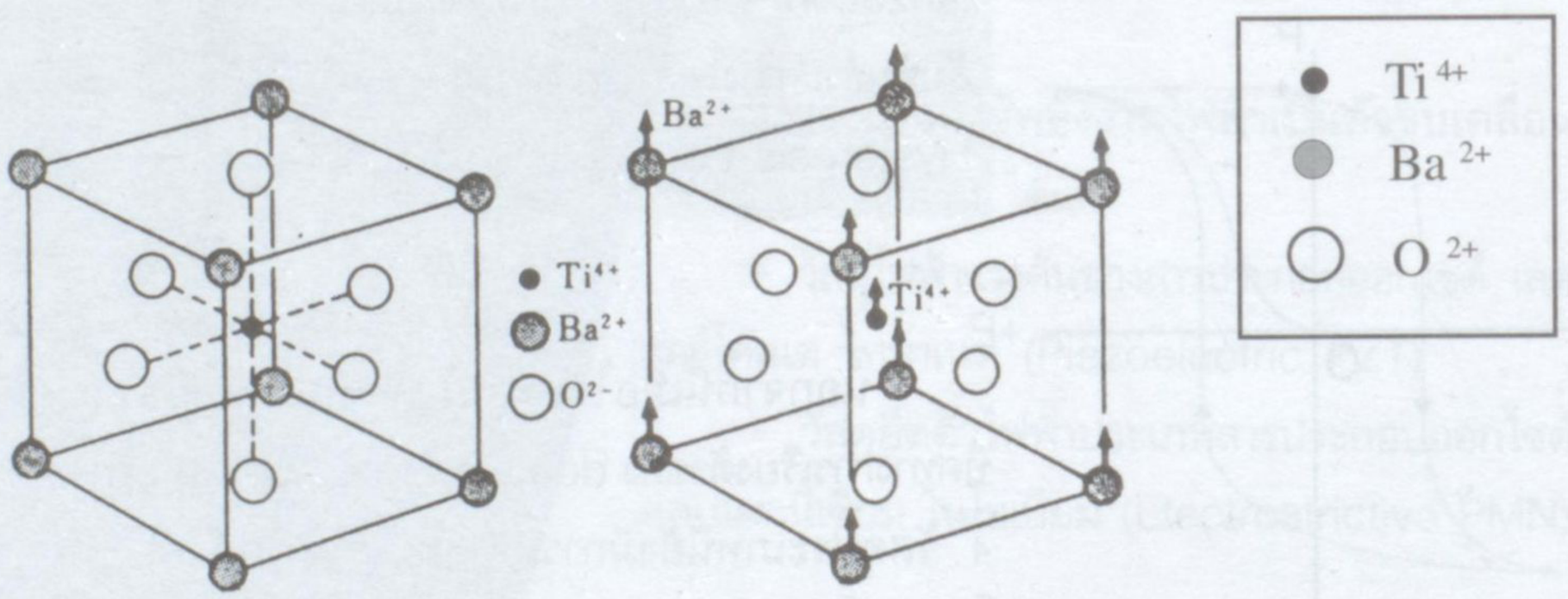
รูปที่ 3
แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
ไพราเซชั่น (P)
กับสนามไฟฟ้า (E)
ในวัสดุประเภท Ferroelectric

นอกจากนี้เมื่อให้สนามไฟฟ้าที่มากพอวัสดุดังกล่าวจะสามารถเปลี่ยนทิศทางการเรียงตัวของ domains ต่างๆให้อยู่ในทิศทางเดียวกัน ดังปรากฏในรูปที่ 4 วัสดุประเภทนี้ยังมีการเปลี่ยนเฟส (phase) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปด้วย โดยจะมีโครงสร้างเป็นแบบ cubic ซึ่งมี center of symmetry ในโครงสร้างนั้นๆ ที่อุณหภูมิซึ่งสูงกว่า Curie temperature (Tc) และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจาก Tc จะมีการเปลี่ยนเฟสไปเป็น tetragonal ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบ non-centro symmetric ทั้งนี้โครงสร้างในลักษณะนี้ของ Ferroelectric จะมีชื่อเรียกที่เฉพาะเจาะจงว่า “Perovskite structure” (รูปที่ 5)



รูปที่ 4 ทิศทางการเรียงตัวของ domains ใน Ferroelectric เมื่อมีสนามไฟฟ้าไหลผ่าน

ตัวอย่างของ Perovskite structure ของสารประกอบออกไซด์ แบเรียมไททาเนต ($BaTiO_3$) จะมีอะตอมของ Barium (Ba) อยู่ที่ cube corners และอะตอม oxygen (O) อยู่ที่ face centers และอะตอม Titanium (Ti) อยู่ที่ body center เมื่อมีการเปลี่ยนเฟสจาก cubic เป็น tetragonal ที่อุณหภูมิต่ำกว่า Tc โครงสร้างของวัสดุดังกล่าวจะเปลี่ยนไปเป็น tetragonal phase โดยอะตอมของ Ti จะเคลื่อนที่ไปตามแนวอะตอมของ O



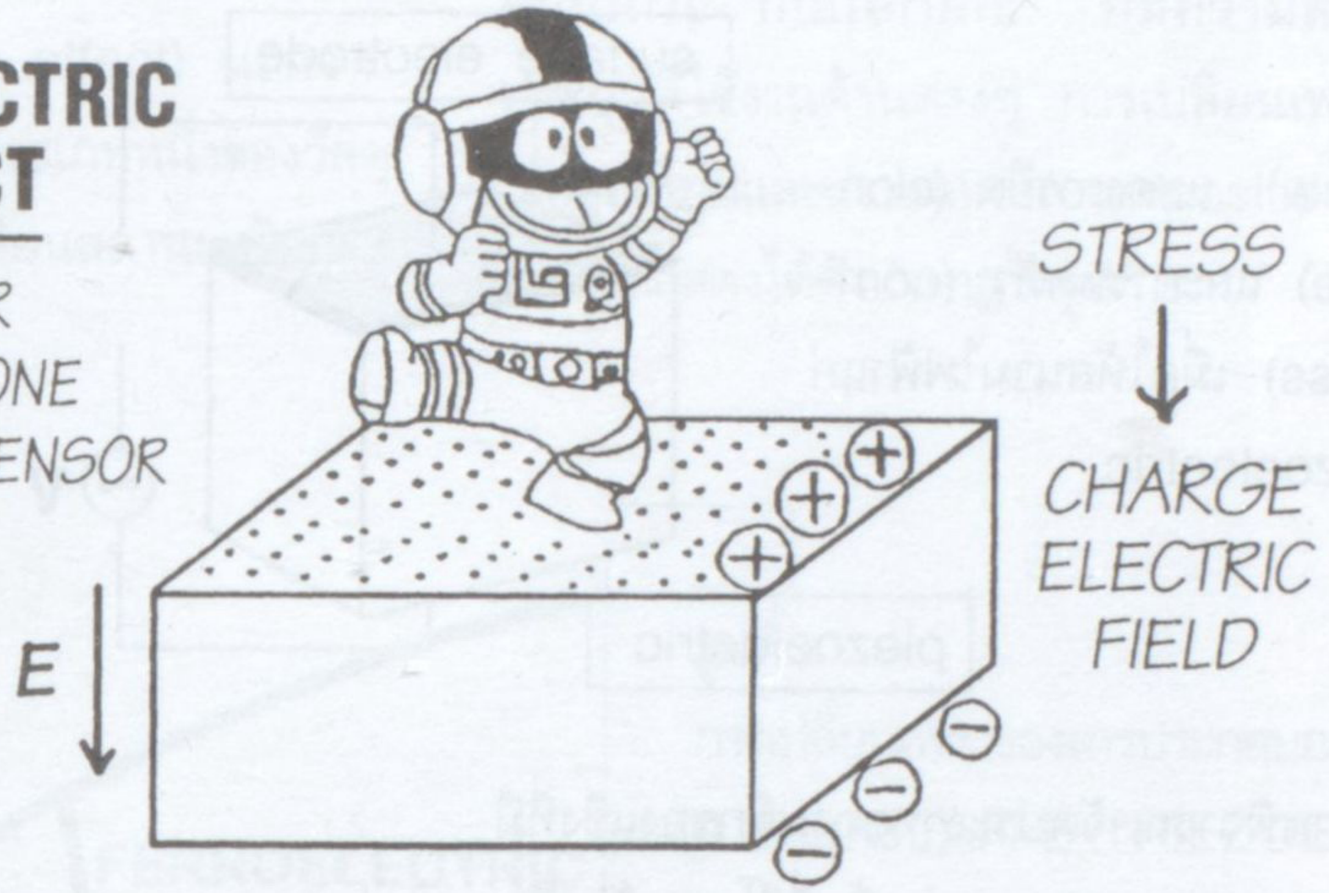
(ก) T>Tc (ข) T<Tc

รูปที่ 5ก แสดงถึง Perovskite structure ของ Ferroelectric ของสารประกอบออกไซด์ แบเรียมไททาเนต ($BaTiO_3$) ที่อุณหภูมิซึ่งสูงกว่า Tc และโครงสร้างเป็น cubic

รูปที่ 5ข เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า Tc โครงสร้างจะเปลี่ยนไปเป็น tetragonal phase

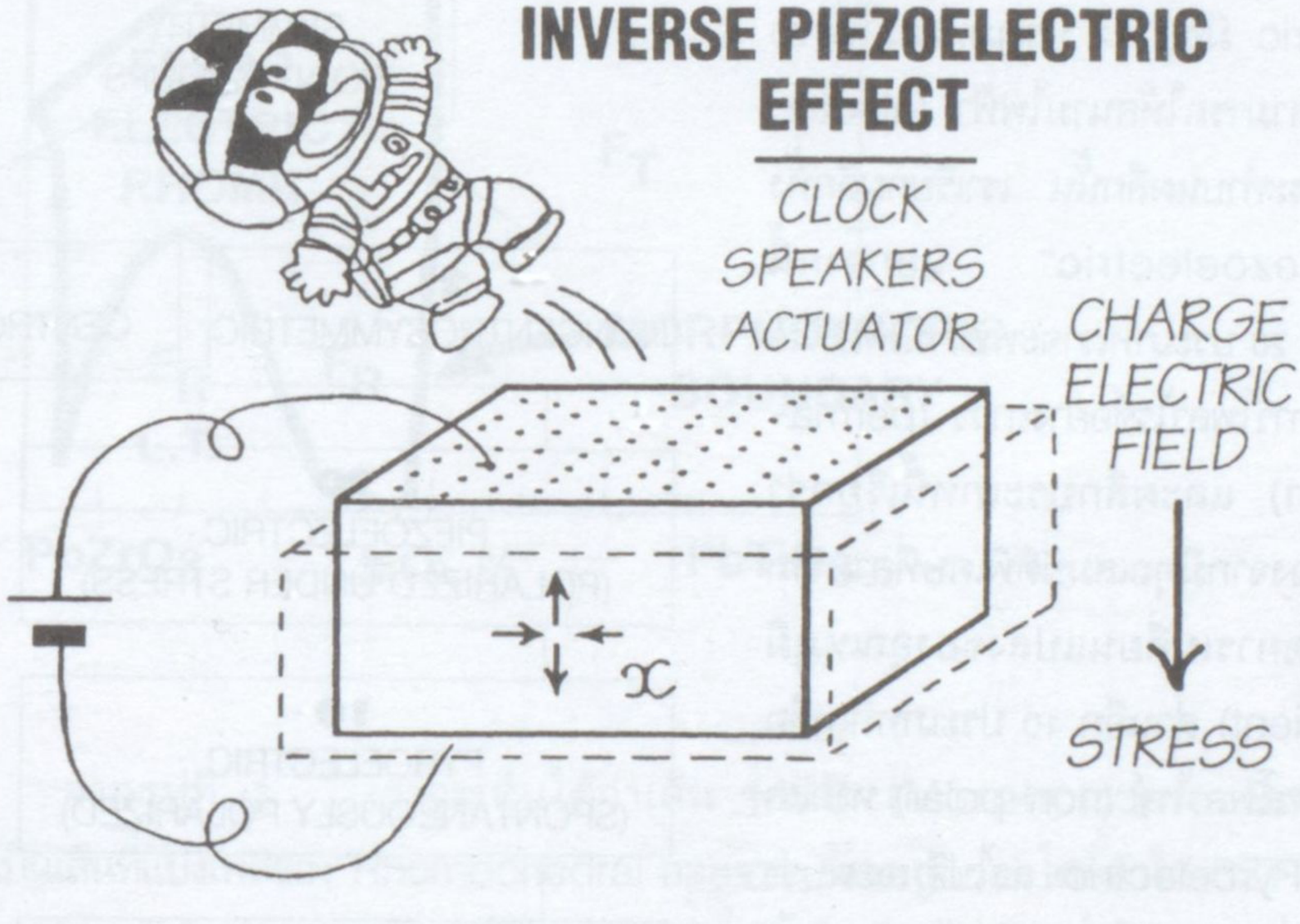
PIEZOELECTRIC EFFECT

IGNITER
MICROPHONE
PRESSURE SENSOR



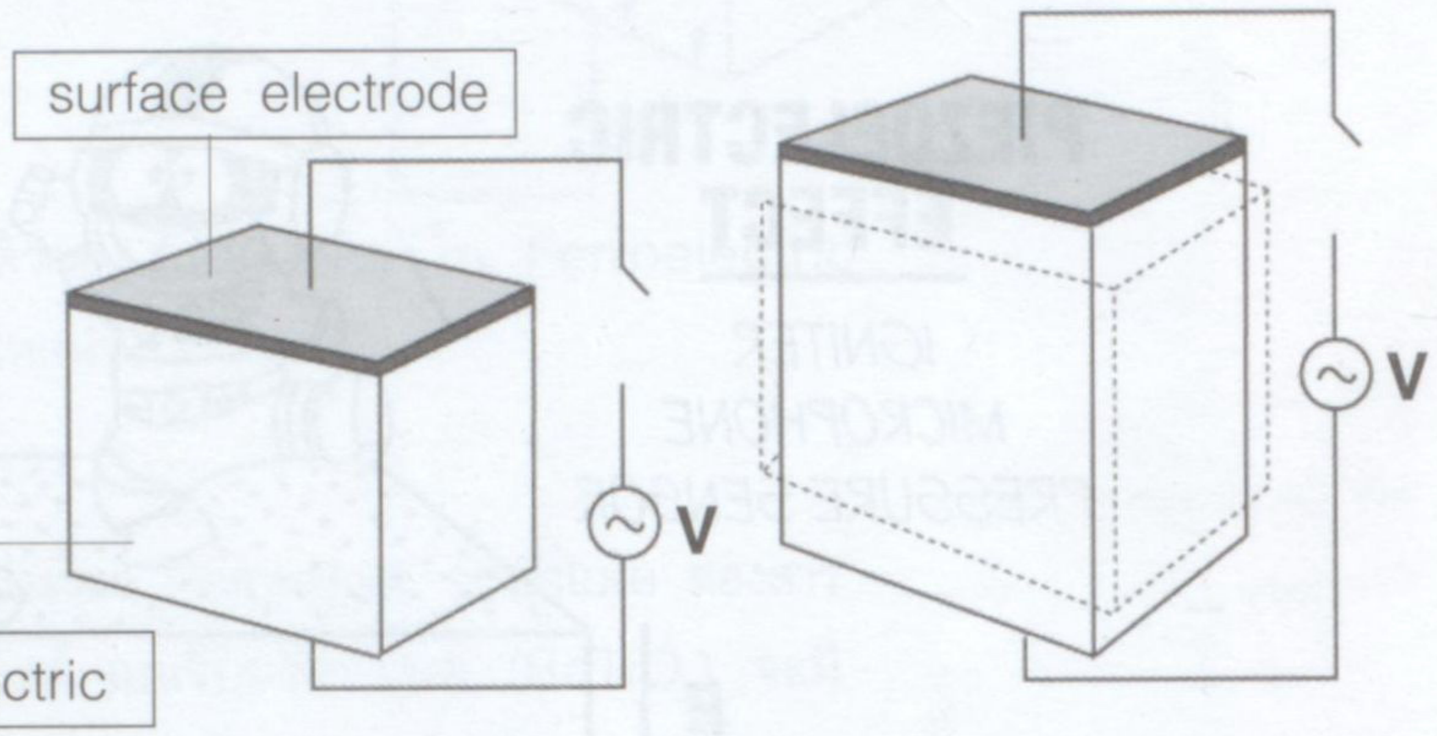
INVERSE PIEZOELECTRIC EFFECT

CLOCK
SPEAKERS
ACTUATOR



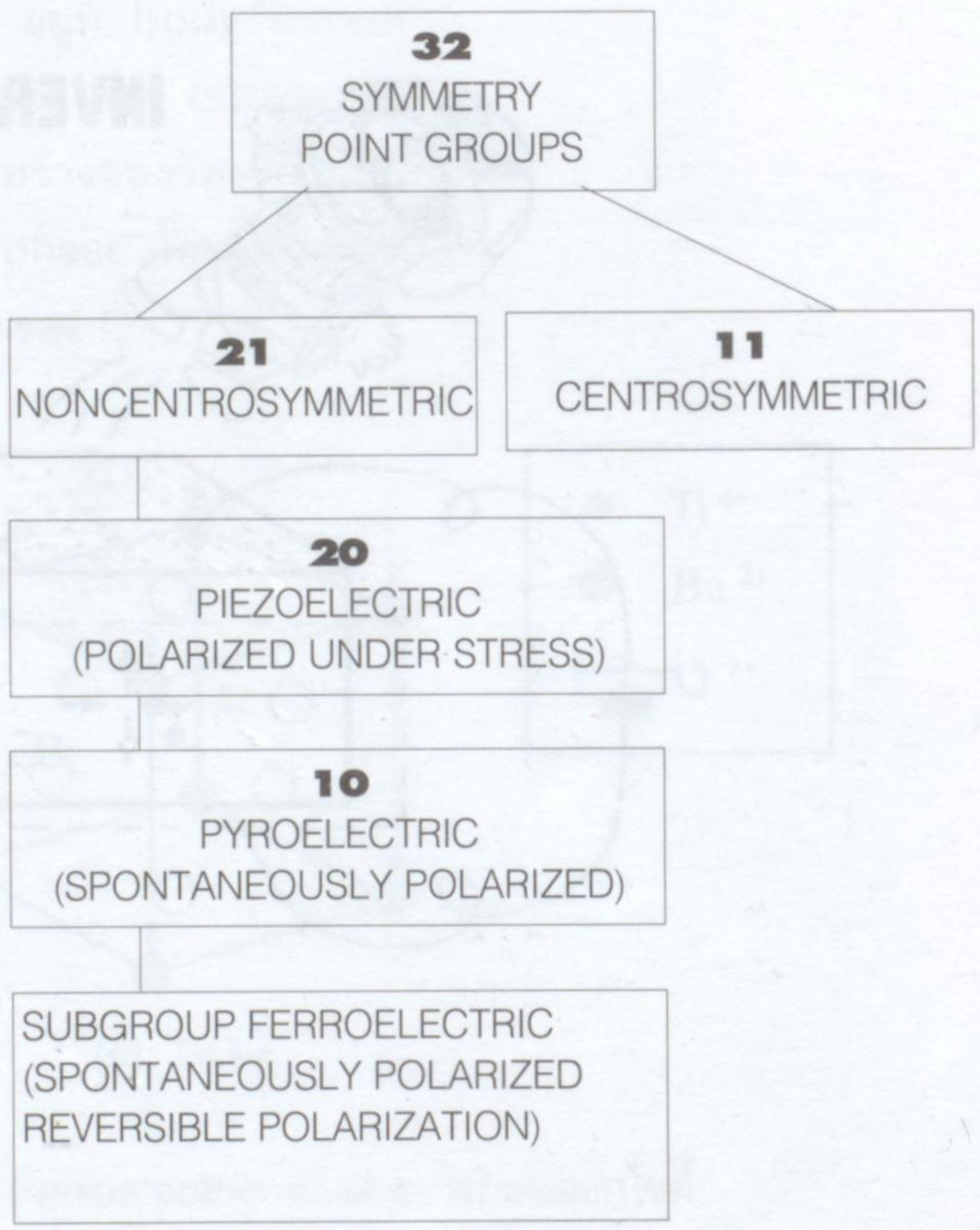
Piezoelectric

Piezoelectric คือ วัสดุที่สามารถให้สนามไฟฟ้าเมื่อมีแรงดันมากระทำ โดยสามารถแสดงลักษณะของวัสดุดังกล่าวดังปรากฏในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการยืด (elongate) และการหดตัว (compress) เมื่อให้สนามไฟฟ้าแก่ Piezoelectric

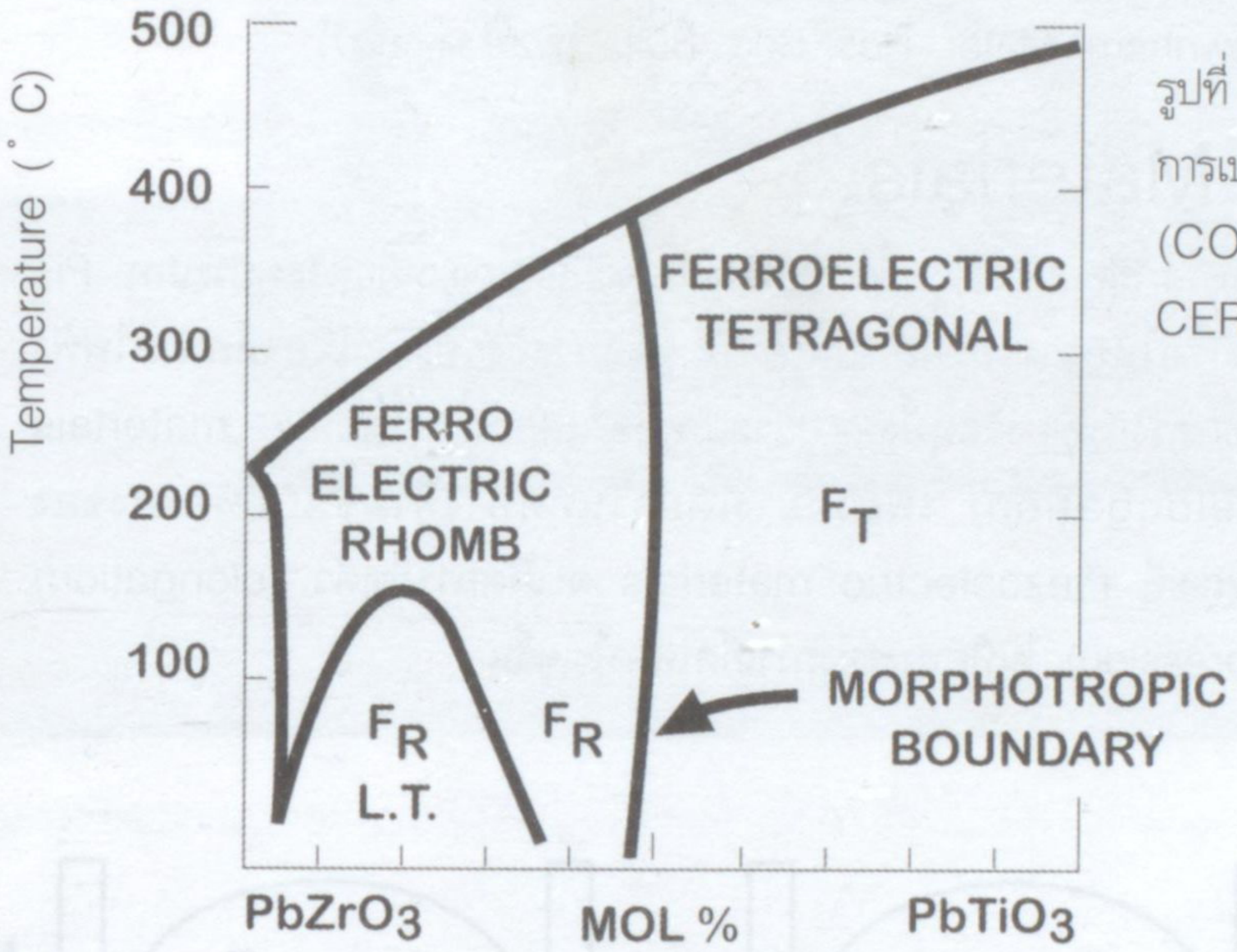
ทั้งนี้หากพิจารณาจัดประเภทของผลึกของแข็งที่มีด้วยกันทั้งหมด 32 ประเภทจะพบว่าผลึกที่มีโครงสร้างเป็น non-centrosymmetric มีอยู่ 21 ประเภทและใน 20 ประเภทของผลึกนั้นจะสามารถให้สนามไฟฟ้า (electric field) เมื่อมีแรงดันมากระทำบนผลึกนั้น เราเรียกผลึกทั้ง 20 ประเภทนี้ว่า “Piezoelectric” นอกจากนี้หากเราแบ่งย่อยในผลึก 20 ประเภทเราจะพบว่ามีเพียง 10 ประเภทที่สามารถให้ค่าการโพลาไรซ์อย่างถาวร (permanent polarization) และผลึกประเภทนี้เรียกว่า “Pyroelectric” เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถให้สนามไฟฟ้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (temperature gradient) ส่วนอีก 10 ประเภทที่เหลือจะเป็น ประเภทที่ไม่มีการโพลาไรซ์ (non-polar) หากเราแบ่งย่อยผลึกในกลุ่ม Pyroelectric ลงไปอีกจะพบว่าสามารถแบ่งเป็นกลุ่มที่สามารถปลี่ยนทิศทางของการโพลาไรซ์เมื่อให้สนามไฟฟ้าที่มีค่าสูงเพียงพอ ซึ่งผลึกประเภทนี้เรียกว่า “Ferroelectric” ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือประเภทที่ไม่สามารถเปลี่ยนทิศทางของการโพลาไรซ์แม้จะให้สนามไฟฟ้าสูงเพียงใดก็ตาม รูปที่ 7 แสดงถึงความสัมพันธ์และการจัดแบ่งประเภทของโครงสร้างผลึกในกลุ่ม Piezoelectric Pyroelectric และ Ferroelectric



รูปที่ 7 แสดงการแบ่งประเภทและความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุ piezoelectric pyroelectric และ ferroelectric

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุประเภท Piezoelectric คือ จะต้องมีโครงสร้างเป็นแบบ non-centrosymmetric และจากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้วัสดุประเภทนี้สามารถให้สนามไฟฟ้าเมื่อมีแรงดันมากระทำ ตลอดจนสามารถให้ความเครียด (Strain) หรือการอัด/ยืดตัวเมื่อให้สนามไฟฟ้าเช่นกัน (converse effect) นอกจากที่กล่าวข้างต้นคุณสมบัติสำคัญอีกประเภทหนึ่งของวัสดุ Piezoelectric คือ จะมีการเปลี่ยนสถานะหรือเฟสเมื่ออุณหภูมิและองค์ประกอบเปลี่ยนไป ซึ่งการเปลี่ยนเฟสจะมีความสำคัญยิ่งต่อการประยุกต์ใช้งานของวัสดุประเภทดังกล่าว

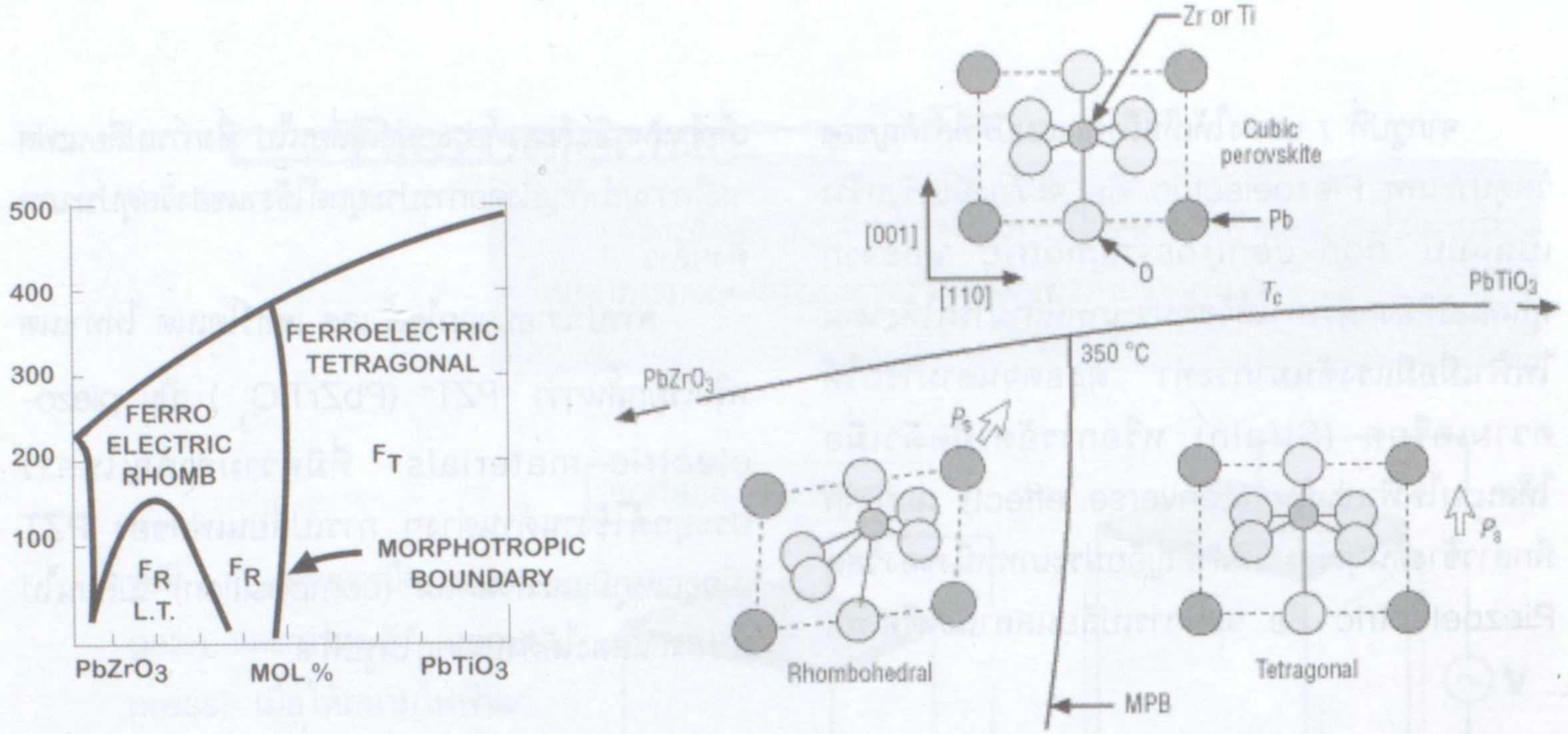
สารประกอบออกไซด์ เลด เซอร์โคเนต ไททาเนต หรือเรียกสั้นๆว่า "PZT" ($PbZrTiO_3$) เป็น piezo-electric materials ที่มีความสำคัญในการประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ การเปลี่ยนเฟสของ PZT เมื่ออุณหภูมิและส่วนผสม (composition) เปลี่ยนไปสามารถแสดงได้ดังปรากฏในรูปที่ 8



รูปที่ 8
การเปลี่ยนเฟส ของสารประกอบออกไซด์ PZT (COOK&JAFFE "PIEZOELECTRIC CERAMICS")

จากรูปที่ 8 เราจะเห็นได้ว่าเส้น MPB (Morphotropic Boundary) จะเป็นเส้นที่แบ่งเฟสของ Rhombohedral ออกจาก Tetragonal โดยทั่วไป PZT ที่มี composition บริเวณ MPB จะให้คุณสมบัติที่ดีทั้งในด้านไฟฟ้าและโครงสร้างทางจุลภาค เนื่องจากเป็นบริเวณที่เฟส Rhombohedral และ Tetragonal อยู่ร่วมกัน

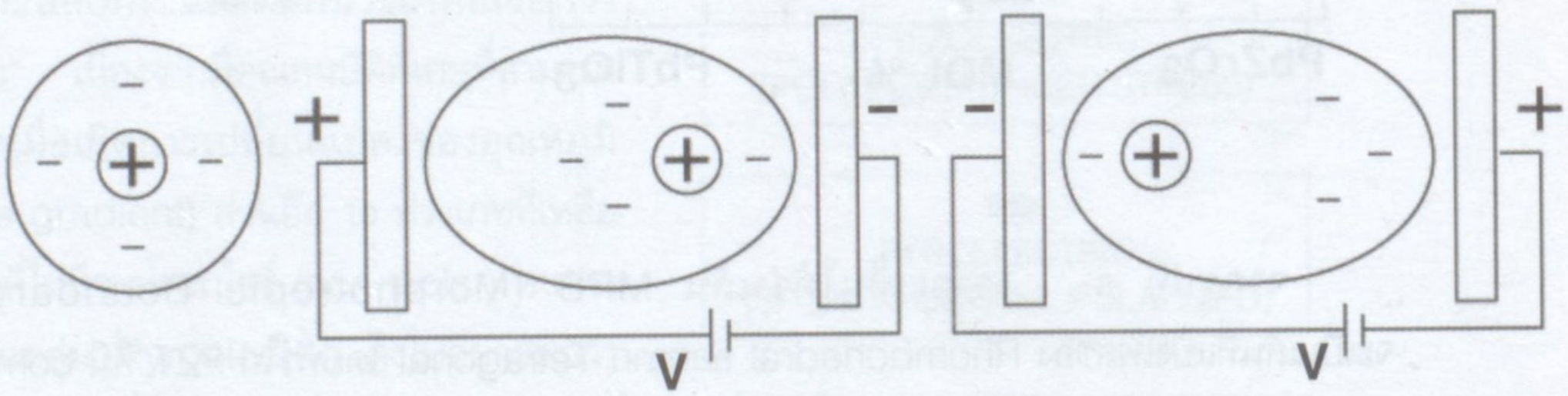
ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเมื่อเฟสของ PZT มีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป สามารถแสดงได้ดังปรากฏในรูปที่ 9



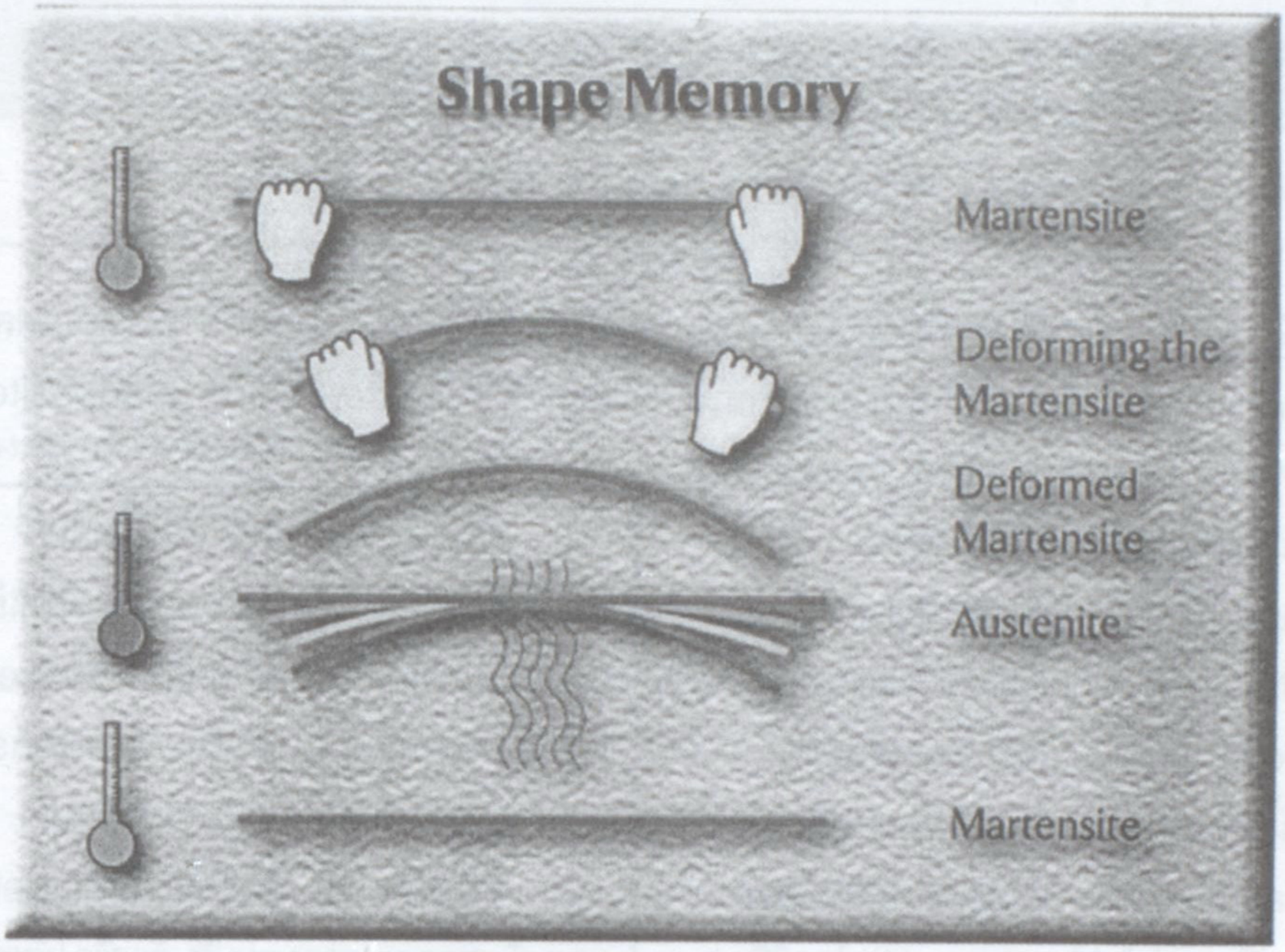
รูปที่ 9 การเปลี่ยนโครงสร้างและเฟสของ PZT เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป
(R.E. Newnham ,Mater. Res. Soc. Bull., 22,20-34, 1997)

Electrostrictive Materials

วัสดุยืดตัวไฟฟ้าหรือ Electrostrictive Materials จะมีลักษณะเหมือนวัสดุประเภท Piezoelectric ที่สามารถให้ความเครียด (strain) หรือการอัด/ยืดตัวเมื่อให้สนามไฟฟ้า อย่างไรก็ตามความแตกต่างกันของวัสดุทั้ง 2 ประเภทคือ Electrostrictive materials จะเกิดการยืดตัว (elongation) เพียงอย่างเดียวในทิศทางที่ไม่ขึ้นกับทิศทางของการให้สนามไฟฟ้าในขณะที่ Piezoelectric materials จะเกิดการยืดตัว (elongation) และการอัดตัว (compression) ในทิศทางของการเกิดโพลาไรเซชั่น



รูปที่ 10 แสดงถึงปรากฏการณ์การยืดตัวไฟฟ้า (electrostriction) เกิดขึ้นจากผลของการเกิด electronic polarization หรือการเปลี่ยนรูปร่างของ electron cloud เมื่อมีสนามไฟฟ้าผ่าน โดยทำให้อะตอมเกิดการยืดตัว (elongation) โดย neutral atom ในรูปซ้ายมือจะเกิดการยืดตัวเมื่อสนามไฟฟ้าผ่านเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า electronic polarization จะเห็นได้ชัดเจนว่าวัสดุ electrostrictive จะยืดตัวเพียงอย่างเดียวไม่หดตัวเช่นเดียวกับวัสดุ piezoelectric


Shape Memory
Martensite
Deforming the Martensite
Deformed Martensite
Austenite
Martensite

Shape memory alloys

โลหะจำรูป คือ วัสดุที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างและขนาดไปยังรูปร่างและขนาดตั้งต้นเมื่ออุณหภูมิที่ให้แก่วัสดุนั้นเปลี่ยนไป โดยทั่วไปโลหะจำรูปจะเกิดการเปลี่ยนรูป plastic deformation ที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ เมื่ออุณหภูมิที่ให้สูงขึ้นโลหะดังกล่าวจะเปลี่ยนรูปร่างตัวเองไปยังจุดเดิมก่อนที่จะมีการเกิด plastic deformation

ทั้งนี้วัสดุที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างไปยังรูปร่างเดิม (shape memory) เมื่อให้ความร้อนแก่วัสดุเท่านั้น เรียกว่า “one-way shape memory” ส่วนวัสดุที่เปลี่ยนรูปร่างในช่วงที่อุณหภูมิที่ให้เย็นตัวลงเราเรียกว่า “two-way shape memory” โลหะจำรูปส่วนใหญ่จะเป็นอัลลอยของ Nickel-Titanium (NiTi alloys) และ Cu-based alloys เช่น CuZnAl และ CuAlNi

นอกจากนี้โลหะจำรูปยังหมายถึงการเปลี่ยนเฟสของ thermoelastic martensite โดยโลหะประเภทดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนเฟสไปสู่ martensitic โดยวิธีการ twinning ที่อุณหภูมิต่ำกว่า transformation temperature และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างนี้ จะกลับไปสู่รูปร่างเดิมโดยวิธีการ twin structure เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นไปถึง parent phase

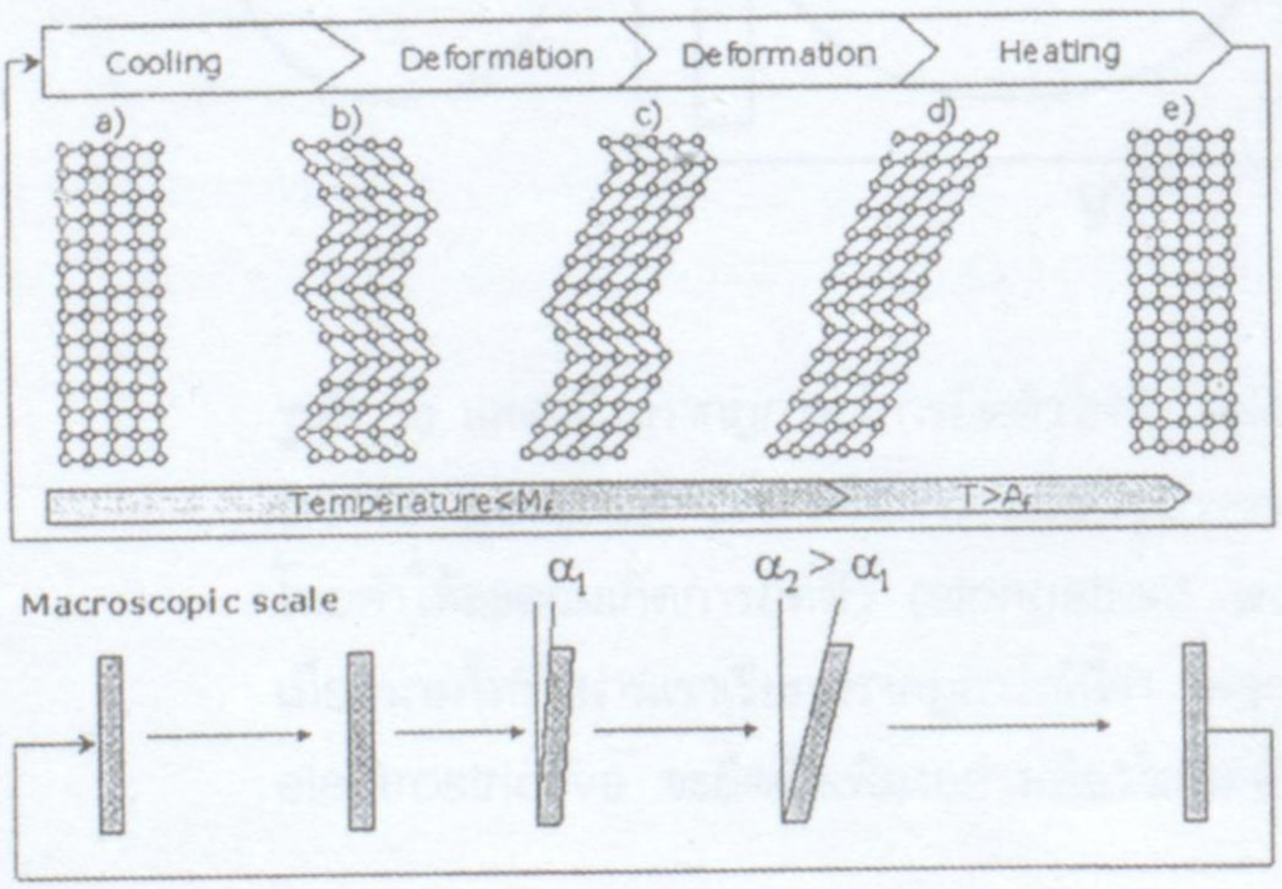
รูปที่ 11 แสดงถึงการเปลี่ยนเฟสของ NiTi alloys จาก austenite เป็น martensite

(a) รูปร่างดั้งเดิม (original)

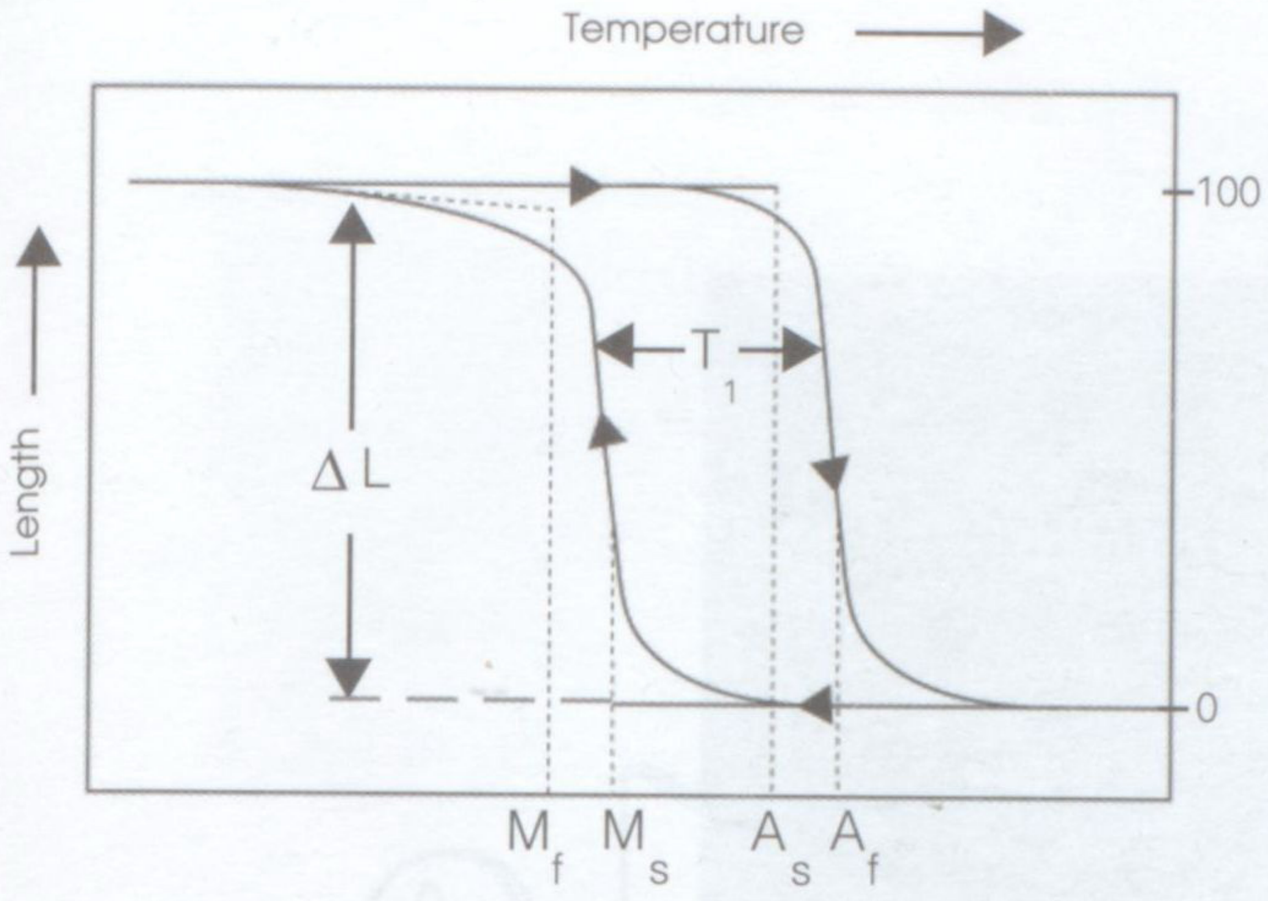
(b) ภายใต้การลด อุณหภูมิให้เย็นลงโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปเป็น martensite phase จนถึงอุณหภูมิ Mf ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเป็น Martensite สิ้นสุดลงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายนอก

(c และ d) ในช่วงการเกิด deformation (c และ d) ระบบพยายามจะปรับตัวเพื่อให้พลังงานน้อยที่สุดโดยการ ปรับตัวเองเข้าสู่ twinning structure โดยพันธะระหว่าง อะตอมยังคงอยู่เช่นเดิมและเมื่อมีการให้อุณหภูมิสูง ขึ้นกว่า Af (อุณหภูมิที่ austenite phase สิ้นสุด)โครงสร้างของโลหะจำรูป จะกลับมาอยู่ในรูปเดิมในจุดตั้งต้น (parent phase)

(e) รูปร่างดั้งเดิม (original)



รูปที่ 11 แสดงถึงการเปลี่ยนเฟสของ NiTi alloys



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลง % martensite กับอุณหภูมิภายใต้ constant load (stress)

รูปที่ 12 แสดงถึง % martensite กับการเปลี่ยนอุณหภูมิของโลหะจำรูป โดยการเกิด transformation จะเป็นในช่วงอุณหภูมิแคบถึงแม้ว่าจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของ transformation จะใช้เวลานานและในช่วงอุณหภูมิที่ยาวกว่า กราฟที่แสดงในรูปดังกล่าวมีลักษณะของ hysteresis loop ซึ่งการเกิด transformation ในช่วง heating และ cooling จะไม่ overlap กัน

โดย T_1 คือ transformation hysteresis
M_s คือ อุณหภูมิที่ martensite เริ่มต้น
M_f คือ อุณหภูมิที่ martensite สิ้นสุด
A_s คือ อุณหภูมิที่ austenite เริ่มต้น
A_f คือ อุณหภูมิที่ austenite สิ้นสุด

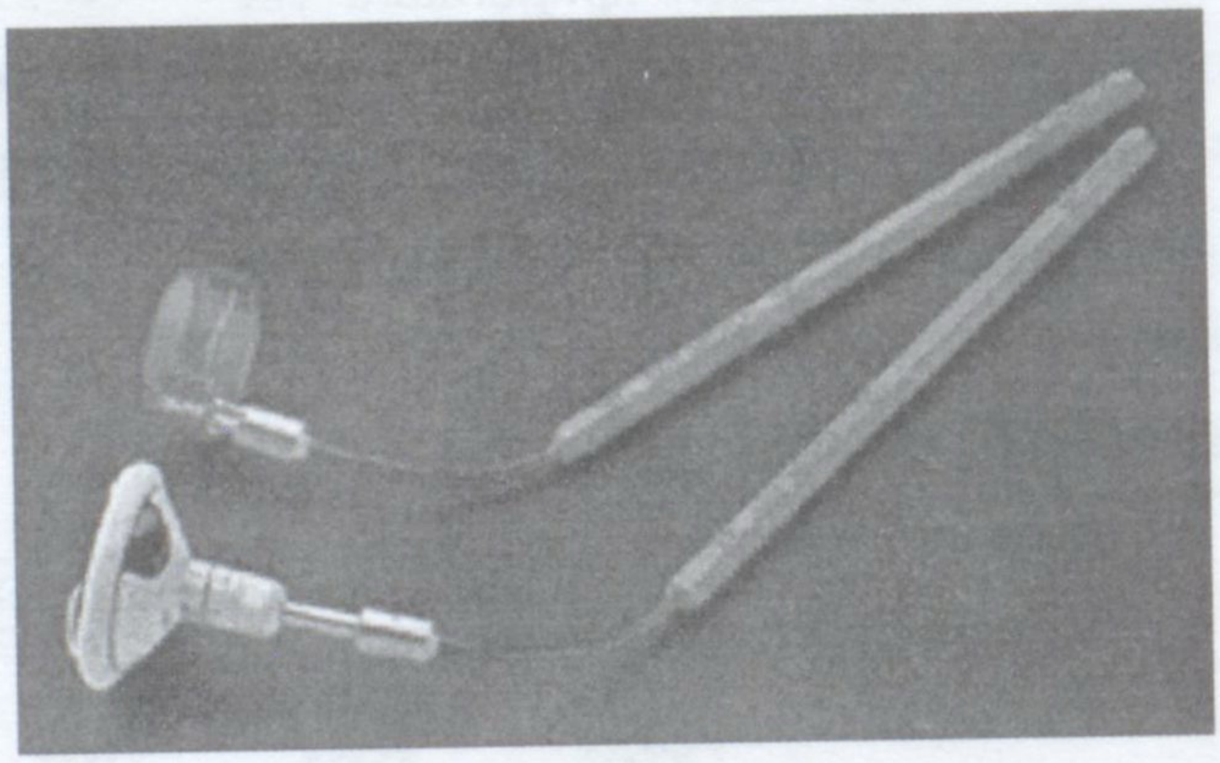
ตัวอย่างช่วง transformation temperature ของ

- โลหะจำรูป NiTi alloys = -50 to 110 °C
- โลหะจำรูป CuAlNi alloys = -140 to 100 °C
- โลหะจำรูป CuZnX (X=Si,Sn,Al) alloys = -180 to 200 °C

ตัวอย่างของการใช้งานโลหะจำรูป

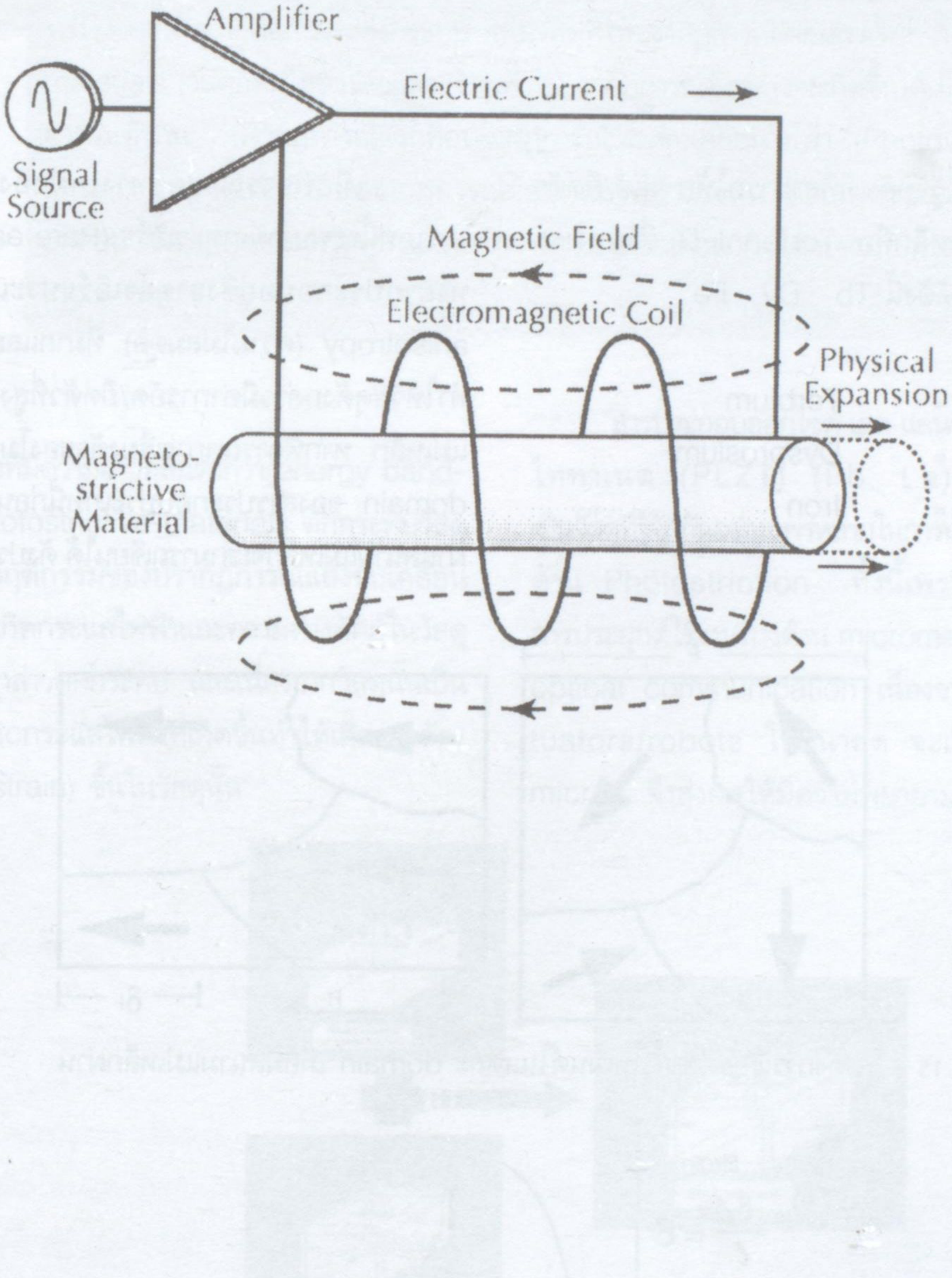
* Medical devices
* Orthodontic braces wires
* Coffeepot Thermostats
* Eyeglasses
* Cellular phone antennae
* Mechanical devices
* Pipe joints

รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างหม้อกาแฟที่ใช้สปริงที่ทำจาก NiTi alloy เป็นตัวเปิดวาวล์ ให้น้ำร้อนไหลออกมาเมื่ออุณหภูมิที่ต้องการจะใช้ต้มกาแฟ



รูปที่ 14 แสดงส่วนที่เป็นด้ามถือทำจาก shape memory alloy ของเครื่องมือที่ใช้ในการผ่าตัด จึงสามารถโค้งงอให้เหมาะสมกับการผ่าตัด ทั้งนี้ด้ามถือดังกล่าวจะเปลี่ยนเป็นรูปร่างเดิม เมื่อให้ความร้อนระหว่างการ sterilization

Basic Magnetostrictive Actuator



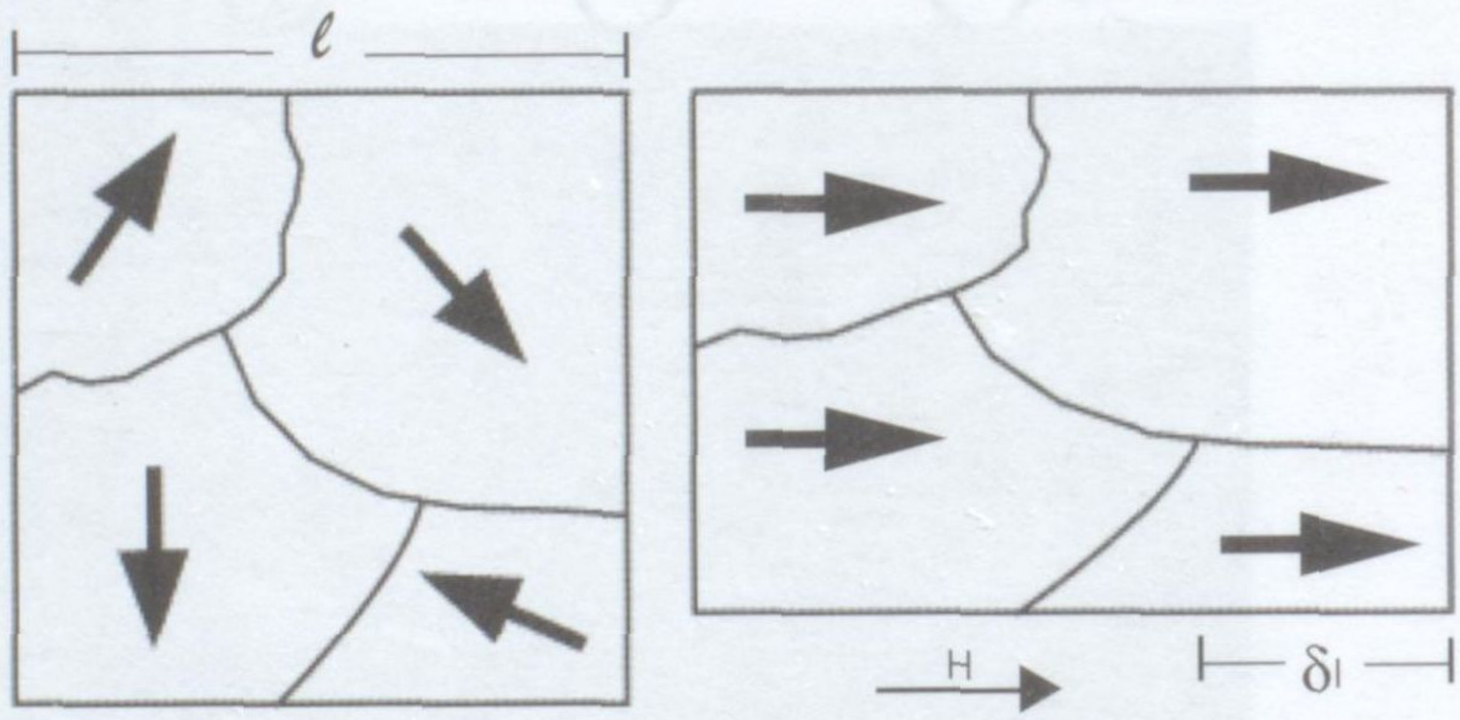
Magnetostrictive materials

วัสดุอัด/ยืดตัวแม่เหล็ก คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุประเภท Ferromagnetic เช่น iron และ nickel เมื่อมีสนามแม่เหล็กผ่านวัสดุนั้น ตัวอย่างเช่นแท่งเหล็ก วางไว้ในสนามแม่เหล็กในทิศทางตามยาวของแท่งเหล็กนั้นจะเกิดการยืดตัวตามแนวยาวของแท่งเหล็ก เมื่อมีสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มต่ำผ่านและจะเกิดการอัดตัว (หดตัว) เมื่อมีความเข้มสูงของสนามแม่เหล็กไหลผ่านจากปรากฏการณ์ดังกล่าวจึงมีประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ทำ magneto-strictive transducer

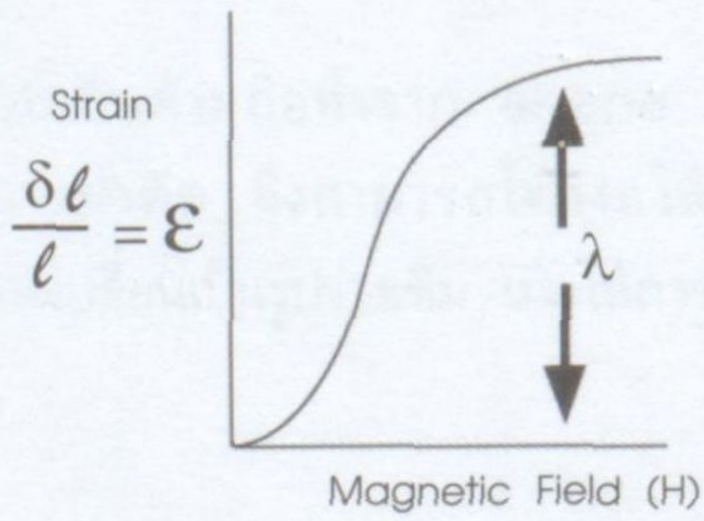
วัสดุที่เป็นที่รู้จักกันดีที่สามารถให้การอัด/ยืดตัวเมื่อผ่านสนามแม่เหล็กคือ Terfenol-D ซึ่งสามารถเขียนสูตรทางเคมีได้ดังนี้ $Tb_{0.3}Dy_{0.7}Fe_{1.9}$

Tb = Terbium
Dy = Dysprosium
Fe = Iron

เมื่อพิจารณาสูตรทางเคมีของสารประกอบประเภทนี้จะพบว่ามีธาตุแรเอิร์ธ (Rare earth) หรือธาตุหายากประกอบอยู่ซึ่งธาตุแรเอิร์ธประเภทนี้จะให้ค่า anisotropy (ความไม่สมดุล) ที่มากและนั่นเป็นสาเหตุทำให้วัสดุดังกล่าวมีค่าการอัด/ยืดตัวที่สูงเมื่อผ่านสนามแม่เหล็ก หากพิจารณาการเรียงตัวของโมเมนต์ในแต่ละ domain ของสารประกอบประเภทนี้ก่อน และหลังการผ่านสนามแม่เหล็กจะสามารถเขียนได้ ดังปรากฏในรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงการเรียงตัวของโมเมนต์ในแต่ละ domain เมื่อมีสนามแม่เหล็กผ่าน



รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด (strain) กับสนามแม่เหล็ก (magnetic field)

ทั้งนี้ λ - TERFENOL-D, ~ 2000×10^{-6}

λ - IRON , ~ -10×10^{-6}

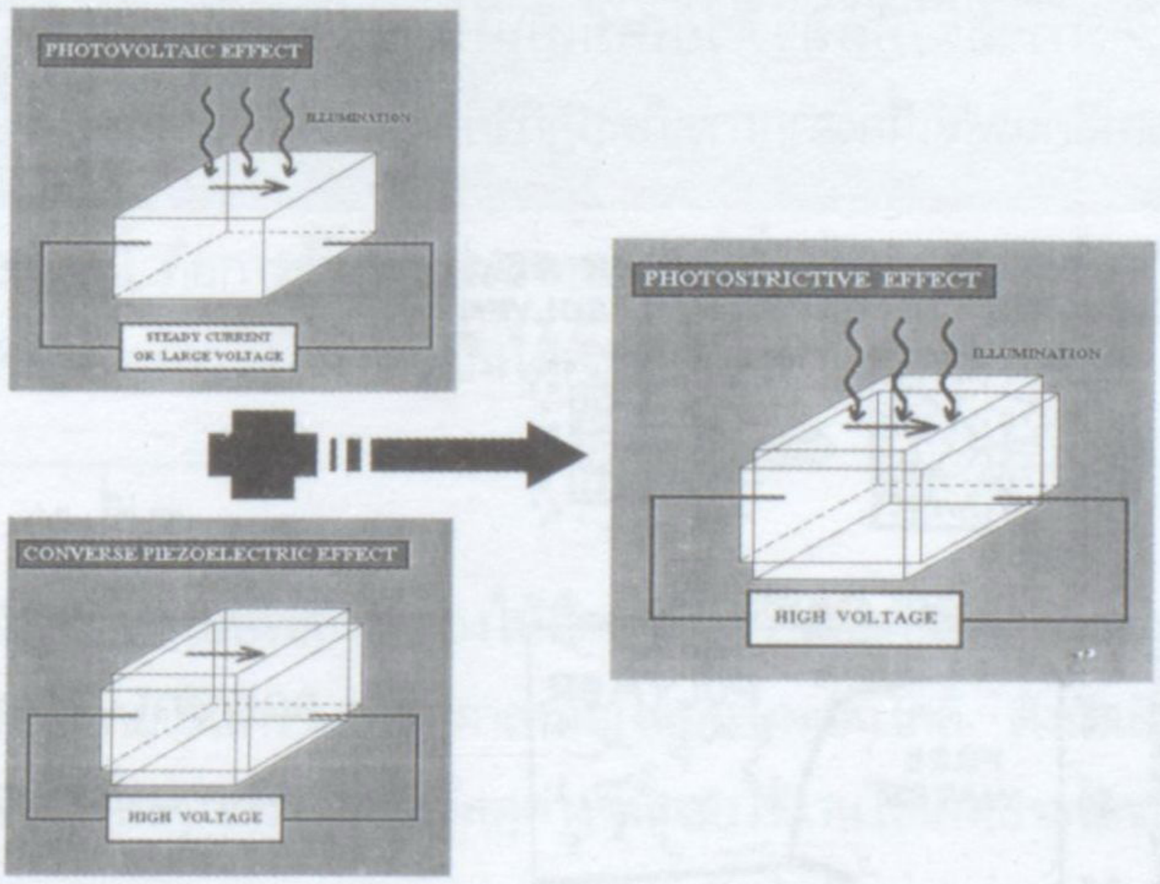
λ - NICKEL , ~ -30×10^{-6}

Photostrictive materials

ปรากฏการณ์การอัด/ยืดตัวโดยพลังงานแสง (Photostriction) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อมีแสงมาส่องกระทบ โดยวัสดุที่ให้ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า Photostrictive materials (วัสดุอัด/ยืดตัวโดยแสง) โดยทั่วไปปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้เมื่อ 2 ปรากฏการณ์มารวมตัวกัน ปรากฏการณ์แรกคือปรากฏการณ์แสงขับเคลื่อนไฟฟ้า (Photovoltaic effect) และปรากฏการณ์ที่สองคือปรากฏการณ์ย้อนกลับไฟฟ้าแรงดัน (Converse-piezoelectric effect) ซึ่งหมายความว่าวัสดุที่จะมีพฤติกรรม Photostriction ได้จะต้องเป็นวัสดุ Piezoelectric เท่านั้น

เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า energy band-gap ของ Photostrictive materials ตกกระทบวัสดุดังกล่าวซึ่งมีพฤติกรรมของปรากฏการณ์แสงขับเคลื่อนไฟฟ้าจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในวัสดุนั้นเมื่อแสงดังกล่าวตกกระทบ และเนื่องจากวัสดุนั้นเป็น Piezoelectricกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการอัด/ยืดตัว หรือ (strain) ขึ้นในวัสดุนั้น

สารประกอบออกไซด์ เลด แลนทานัม เซอร์ โคเนต ไททาเนต (PLZT) (Pb, La) (Zr, Ti) O_3 เป็นวัสดุที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในการนำไปประยุกต์ใช้งานด้าน Photostriction ทั้งนี้เพราะสามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานทางด้าน micromechatronics และ optical communication เนื่องจากขนาดของ actuators/robots ในอนาคต จะเล็กลงไปถึงระดับ micron จึงส่งผลให้มีความพยายามที่จะลดหรือกำจัด



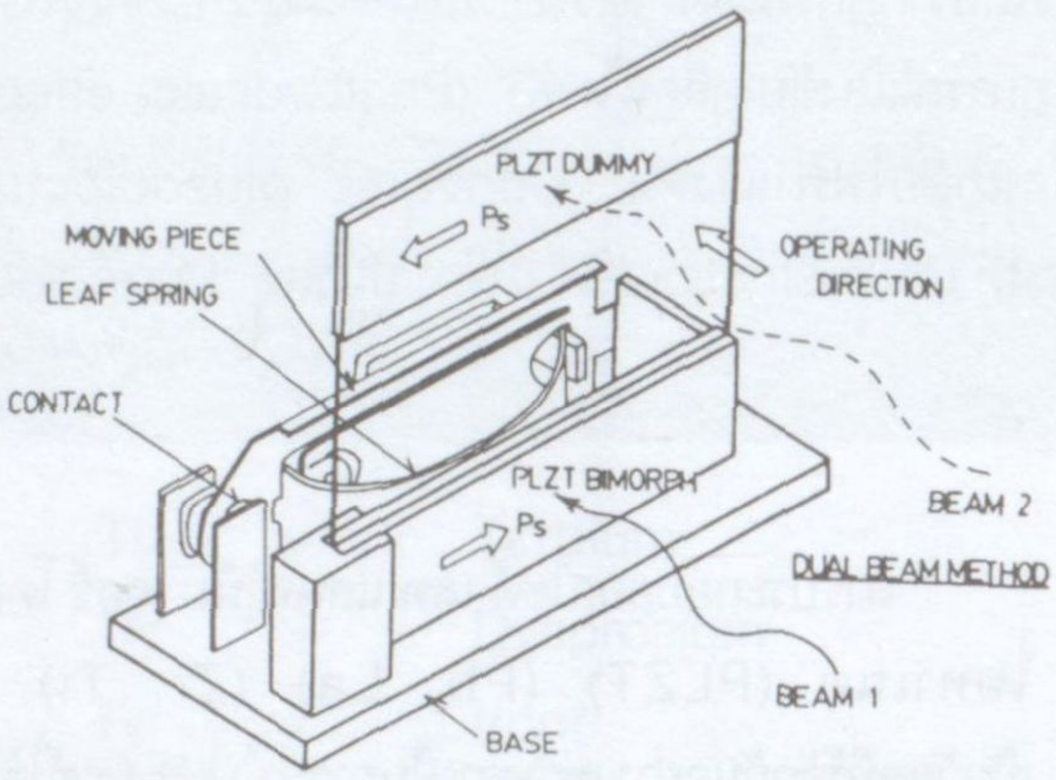
รูปที่ 17 แสดงถึงปรากฏการณ์แสงขับเคลื่อนแรงดันและปรากฏการณ์ย้อนกลับ Piezoelectric ซึ่งเกิดรวมกัน ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์อัด/ยืดตัวด้วยพลังงานแสง

สายไฟฟ้าที่ใช้ต่อ actuators/robots ดังกล่าวกับแหล่งจ่ายกำลัง (power supply) เนื่องจากน้ำหนักและขนาดของสายไฟฟ้านั้น เหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ photostrictive actuators/devices ได้รับความสนใจ และมีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมกันอย่างแพร่หลายในการประยุกต์นำไปใช้งาน ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งานในด้าน Photo striction คือ

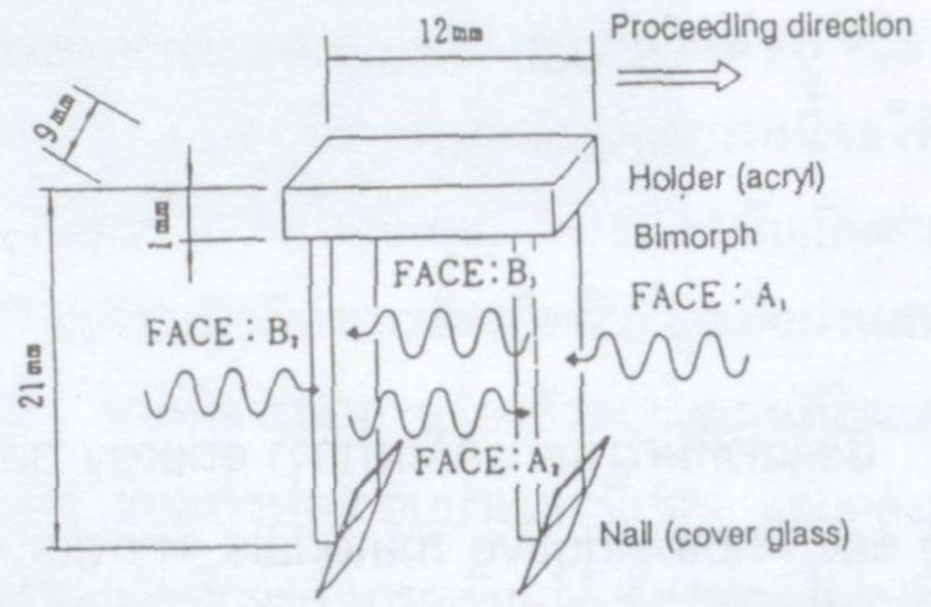
- optical micropositioning
- optically controlled valves for medical and space application
- optically controlled robots

ตัวอย่างของ Photostrictive actuators 2 ประเภท จากสารประกอบออกไซด์ PLZT ที่ถูกสร้างขึ้นโดย Dr. Kenji Uchino จาก Pennsylvania State University คือ

- Photo-driven relay ดังปรากฏในรูปที่ 18
- Photo-driven micro walking machine ดังปรากฏในรูปที่ 19



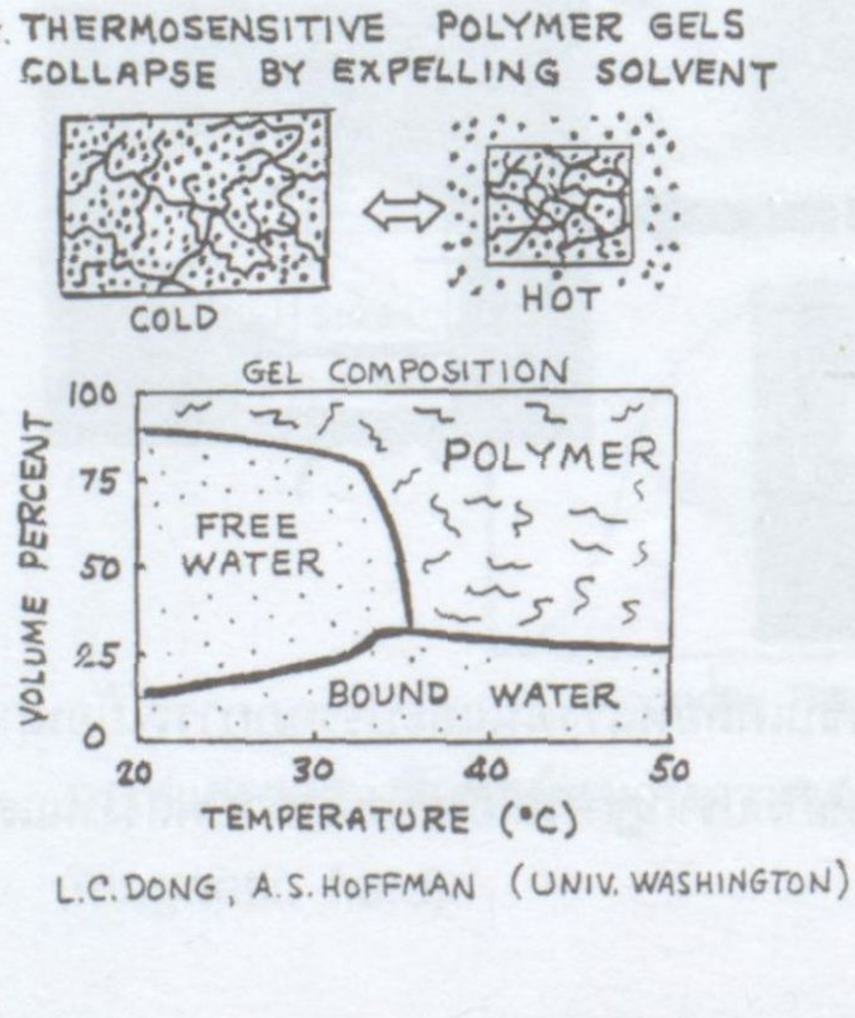
รูปที่ 18 แสดงตัว Relay ที่ใช้พลังงานแสงเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงาน



รูปที่ 19 แสดงตัว Micro walking machine ซึ่งส่วนที่เป็นขาจะทำจากแผ่น PLZT เมื่อฉายแสงบริเวณขาก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้

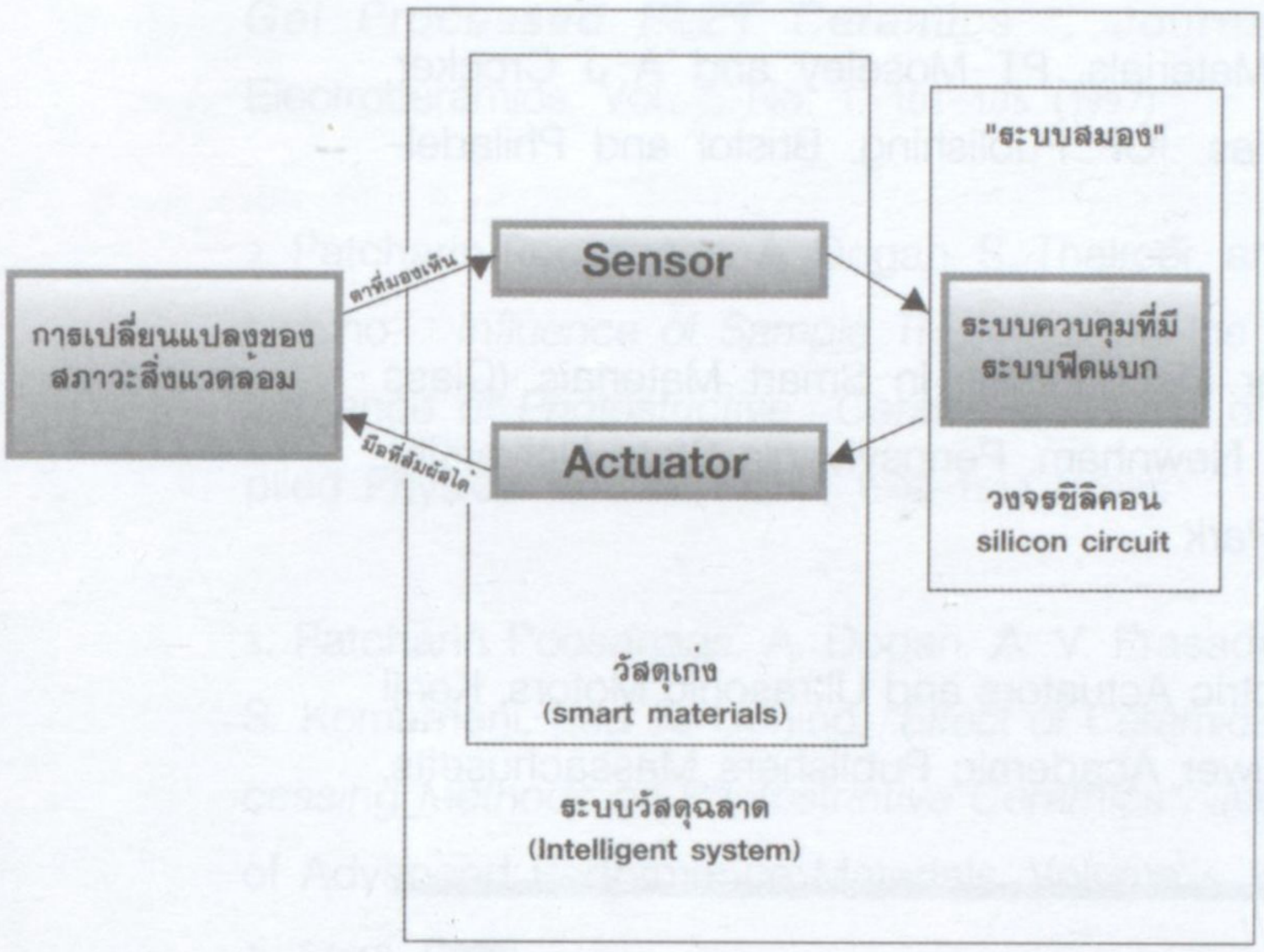
Chemostriction

การอัด/ยืดตัวด้วยเคมีเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในวัสดุประเภทโพลิเมอร์เมื่อมีการเปลี่ยนเฟสเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในวัสดุนั้น



รูปที่ 20 แสดงถึง polymer gels ที่มีการตอบสนองต่อความร้อนจะหดตัวเมื่อมีการระเหยของ solvent โดยการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า chemostriction

วัสดุประเภทต่างๆ ทั้ง 7 ประเภท ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นคือวัสดุที่ใช้นำไปทำเป็น Actuator ทั้งนี้การทำงานของ Smart materials (วัสดุที่สามารถเป็นได้ทั้ง Sensor และ Actuator ในตัวเดียวกัน) สามารถนำมาเปรียบเทียบกับระบบการทำงานของมนุษย์ได้โดยรูปไดอะแกรมง่าย ๆ ดังปรากฏ ในรูปที่ 21



รูปที่ 21
แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง
Smart materials และ
Intelligent materials

จากรูปที่ 21 จะเห็นได้ชัดเจนว่า ยังมีวัสดุ/อุปกรณ์อีกประเภทหนึ่งที่ไม่เพียงแต่แสนรู้แต่ยังมีความฉลาด ที่จะปรับตัวของมันเองให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใน การใช้งานได้อีกด้วย วัสดุ/อุปกรณ์ ประเภทนี้เรียกว่า Intelligent materials/devices โดยทั่วไปวัสดุ/อุปกรณ์ประเภทนี้ นอกจากจะเป็น Sensor และ Actuator ในตัวเดียวกัน ตัวมันเองจะมีระบบขับเคลื่อน (drive) และระบบควบคุม (control) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนตัวเองให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมได้อีกด้วย

ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้ คือการจำแนกประเภทของวัสดุทั่วๆไปว่าประเภทใดเป็น Smart materials ตลอดจนการนำวัสดุดังกล่าวไปใช้งานที่เป็นได้ทั้ง Sensor และ Actuator ในตัวเดียวกัน

โลกของวัสดุยังคงมีหลายสิ่งหลายอย่างให้ศึกษาค้นคว้าและค้นพบ ความแสนรู้ของวัสดุที่กล่าวถึงในวันนี้ อาจกลายเป็นความธรรมดาสามัญในอนาคตอันใกล้ ดังนั้นสิ่งที่สำคัญยิ่งกว่าคือ การรู้จักนำความพิเศษในคุณสมบัติของวัสดุต่างๆนั้นมาใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารอ้างอิง

1. Ferroelectric Devices, Kenji Uchino, Marcel Dekkar, Inc., New York 2000

2. Sensor Materials, PT Moseley and A J Crocker, Sensor Series, IOP Publishing, Bristol and Philadelphia, 1996

3. Molecular Mechanisms in Smart Materials (Class Notes), RE. Newnham, Pennsylvania State University, University Park

4. Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors, Kenji Uchino, Kluwer Academic Publishers Massachusetts, 1997

ประวัติผู้เขียน

ดร.พัชรินทร์ เบอร์ค

การศึกษา : ปริญญาเอก สาขา Materials จาก Pennsylvania State University University Park สหรัฐอเมริกา ปี 2542

ปัจจุบัน : นักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีการผลิตและการออกแบบ MDTC (Manufacturing and Design Technology Center)
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ MTEC
(National Metal and Materials Technology Center)

ผลงานวิจัย :
- Photovoltaic and Photostrictive PLZT ceramics
- Photostrictive Actuators
- Photostrictive Materials Activated under Visible Light
- Magnetic Thin Film Media

PUBLICATIONS

1. Patcharin Poosanaas, A. Dogan, A. V. Prasadarao, S. Komarneni, and K. Uchino, *"Photostriction of Sol-Gel Processed PLZT Ceramics "*, Journal of Electroceramics, Vol. 1, No. 1, 101-105 (1997).

2. Patcharin Poosanaas, A. Dogan, S. Thakoor, and K. Uchino, *" Influence of Sample Thickness on the Performance of Photostrictive Ceramics"* Journal of Applied Physics, Vol. 84, No. 3, 1508-1512 (1998).

3. Patcharin Poosanaas, A. Dogan, A. V. Prasadarao, S. Komarneni, and K. Uchino, *"Effect of Ceramic Processing Methods on Photostrictive Ceramics"*, Journal of Advanced Performance Materials, Volume 6, Issue 1, 57-69 (1999).

4. Patcharin Poosanaas and Kenji Uchino, *" Photostrictive Effect in Lanthanum-Modified Lead Zirconate Titanate Ceramics Near The Morphotropic Phase Boundary, to be published* in the special issue of Journal of Materials, Chemistry and Physics, 61, 36-41 (1999).

5. P. Poosanaas, K. Tonooka, I. R. Abothu , S. Komarneni, and K. Uchino, *"Influence of Composition and Dopant on Photostriction in Lanthanum-Modified Lead Zirconate Titanate Ceramics"* special issue of Journal of Intelligent Materials Systems and Structures, Vol. 10, 439-445 (1999)(invited paper).

6. Patcharin Poosanaas, Kazuhiko Tonooka , and Kenji Uchino, *"Photostrictive Actuators"* Journal of Mechatronics, Vol. 10, 467-480 (2000) (invited paper).

7. P. Poosanaas, A. Dogan, A.V. Prasada Rao, S. Komarneni, and K. Uchino, *"Photostrictive Properties of PLZT Ceramics Derived from A Sol-Gel Process,"* Proceedings in The Sixth Annual Workshop on Science and Technology Exchange between Thai Professionals in North America and Thailand, Edmonton, Alberta, Canada (1996).

8. A. Dogan, P. Poosanaas, A.V. Prasada Rao, S. Komarneni, and K. Uchino, *"Photostrictive Properties of PLZT Ceramics "*, Proceedings in Turkish Ceramic Society III. Ceramic Congress, Istanbul, Turkey, (1996).

9. Patcharin Poosanaas, A. Dogan, S. Thakoor, and K. Uchino, *"Dependence of Photostriction on Sample Thickness and Surface Roughness for PLZT Ceramics"*, Proceedings in 1997 IEEE Ultrasonics Symposium, Toronto Marriott Eaton Centre, Toronto, Ontario, Canada, (October 5-8 1997).

10. K. Tonooka, P. Poosanaas, and K. Uchino, *"Mechanism of the bulk photo-voltaic effect of ferroelectrics"*, Proceedings in SPIE's 5th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials, San Diego, California, (March 1998).

11. S. Thakoor, P. Poosanaas, J. M. Morookian, A. Yavrouian, L. Lowry, N. Marzwell, J. Nelson, R. R. Neurgaonkar, and K. Uchino, *" Optical Microactuation in Piezoelectrics"* Proceedings in SPIE's 5th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials, San Diego, California, (March 1998).

12. Kenji UCHINO and Patcharin POOSANAAS, *" Photostriction in PLZT and Its Application"*, Proceedings in CIMTEC'98, , Florence, Italy, June 14-19, 1998 (invited paper).

13. P. Poosanaas, A. Dogan, S. Thakoor, and K. Uchino, *"Thick Film Type Photostrictive Actuators"*, Proceedings in Actuator'98, 6th International Conference on New Actuators, Bremen, Germany, (June 17-19, 1998).

14. Aydin Dogan, Patcharin Poosanaas, and Kenji Uchino, *"Surface Characteristics on Photostrictive Behavior of PLZT Ceramics"*, Proceedings in Ceramic Congress IV, Eskisehir, Turkey, (September 22-25, 1998).

15. Kenji UCHINO and Patcharin POOSANAAS, *"Photostriction in PLZT and Its Application"*, 4th International Conference on Intelligence Materials (ICIM'98), Nippon Steel Makuhari Education Center, Makuhari, Japan, (October 5-7, 1998)

16. Issac Robin Abothu, Patcharin Poosanaas, Sridhar Komarneni, Yukio Ito, and Kenji Uchino, *"Nanocomposite Versus Monophasic Sol-Gel Processing of PLZT Ceramics"* Proceedings in Asian Meeting on Ferroelectrics (AMF2), Singapore, December 8-11, 1998.

17. Issac Robin Abothu, Yukio Ito, Patcharin Poosanaas, Sriram Kalpat, Sridhar Komarneni, , and Kenji Uchino, Sol-Gel Processing of Piezoelectric Thin Films, Proceedings in Asian Meeting on Ferroelectrics (AMF2), Singapore, December 8-11, 1998.

18. Shi-Fang Liu, Issac Robin Abothu, Sridhar Komarneni, Patcharin Poosanaas, Dong-Soo Paik, Yukio Ito, and Kenji Uchino, " *PLZT Ceramics Prepared From Conventional and Microwave Hydrothermal Powders"* Proceedings in Asian Meeting on Ferroelectrics (AMF2), Singapore, December 8-11, 1998.

19. Patcharin Burke and Kenji Uchino, *"Influence of Surface Roughness on Photostriction"*, Proceedings in Non-Linear Optics 2000 (NLO 2000), Kauai, Hawaii, August 7-11, 2000.

20. K. Uchino, P. Poosanaas, and K. Tonooka, " Photostrictive Actuators, New Perspective", 103rd Annual Meeting of The American Ceramic Society, Indianapolis, Indiana, April 22-25, 2001 (invited paper).

21. P. Poosanaas-Burke, B. Vetayanukul, T. Wasanapiarnpong, S. Kuharuangrong, and K. Uchino, " *Investigations on High Response Speed and High Induced Strain of Photostrictive Doped PLZT Ceramics* ", 103rd Annual Meeting of The American Ceramic Society, Indianapolis, Indiana, April 22-25, 2001.

22. P. Poosanaas-Burke, I.R. Abothu and K. Uchino, *"Fabrication and Device Design of Bulk and Thin Films Photostrictive Materials"*, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC/2001), Budapest, Hungary, May 21-23, 2001.

ให้ทุนวิจัยและพัฒนาแก่ภาครัฐและเอกชน

เครื่องมือ...

...อุปกรณ์

...รีไซเคิล

เครื่องจักร...

ผลิตภัณฑ์...

...วัตถุดิบ

กระบวนการผลิต...

Funding

สอบถามรายละเอียดได้ที่
งานอุดหนุนการวิจัยและพัฒนาหน่วยปฏิบัติการเครือข่าย
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
โทรศัพท์ 6425345-9 ต่อ 51-55
E-mail: rde@mtec.or.th

บริการฝึกอบรม/สัมมนา

- จัดฝึกอบรมในด้านโลหะ เซรามิกส์ โพลิเมอร์ การออกแบบและการผลิตตลอดทั้งปี

บริการข้อมูลเทคโนโลยีวัสดุ

- ห้องสมุด
- ฐานข้อมูลผู้ประกอบการ, นักวิจัย, หน่วยงานที่ให้บริการทางเทคนิคอื่นๆ
- สื่อวิดีทัศน์, CD-ROM, DATABASE

บริการทางเทคนิค

- การแก้ปัญหาทางเทคนิค
- การให้คำปรึกษาทางเทคนิค
- การรับทำวิจัย พัฒนา/ถ่ายทอดเทคโนโลยี
- การวิเคราะห์ ทดสอบวัสดุ

MTEC

National Metal and Materials Technology Center

ช่วยอุตสาหกรรมได้อย่างไร?

บริการประสานอุตสาหกรรม

- เผยแพร่โครงการวิจัยให้อุตสาหกรรม
- ขายเทคโนโลยีในรูปของสินค้าเพื่อทดแทนการนำเข้า หรือลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร

โครงการการจัดการและปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดต้นทุนผลิตในอุตสาหกรรมเซรามิกส์

- พัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยี และการจัดการ

ศูนย์เทคโนโลยีการผลิตและการออกแบบ

- ขณะนี้ได้มุ่งเน้นไปที่เทคโนโลยีการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM/CAE) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการจำลองแบบหล่อบนคอมพิวเตอร์ (Casting Simulation)

นอกจากนี้ MTEC ยังให้ทุนอุดหนุนการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรมแก่มหาวิทยาลัยหรือ หน่วยงานวิจัยอื่นๆ ของภาครัฐ โดยเน้นการสนับสนุนในสาขาโลหะ การออกแบบและผลิต เซรามิกส์ และโพลิเมอร์

ต้องการรายละเอียดเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ งานนิเทศสัมพันธ์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ National Metal and Materials Technology Center (MTEC)
อาคารมหานครยิบซั่ม ชั้น 9 ถนนศรีอยุธยา เขตราชเทวี แขวงถนนพญาไท กรุงเทพฯ 10400 โทรศัพท์ 6425345-9, 2488276-8 ต่อ 12-15 โทรสาร 2472980
E-mail: pr@mtec.or.th http://www.mtec.or.th

สอบถามรายละเอียดได้ที่

ศูนย์เทคโนโลยีการผลิตและการออกแบบ

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

539/2 ถนนศรีอยุธยา เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 6425345-9 ต่อ 44

โทรสาร 2472981

www.mtec.or.th