

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	i
สารบัญ	iii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความหมายของระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค	3
1.2 ระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาคจากอดีตถึงปัจจุบัน	5
1.2.1 การประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์แบบจุดสัมผัส ใน ค.ศ. 1947	5
1.2.2 การค้นพบปรากฏการณ์เพียโซรีซิสทีฟ ใน ค.ศ. 1954	6
1.2.3 การประดิษฐ์วงจรรวมครั้งแรก ใน ค.ศ. 1958	7
1.2.4 การปาฐกถาเรื่อง “ข้างล่างมีที่ว่างอีกเยอะ” ของริชาร์ด พาย์แมน ใน ค.ศ. 1959	9
1.2.5 สิทธิบัตรทรานซิสเตอร์เกจเรโซแนนซ์ ใน ค.ศ. 1968	10
1.2.6 การประดิษฐ์ไมโครโพรเซสเซอร์ ใน ค.ศ. 1971	10
1.2.7 การประดิษฐ์ไมโครเซนเซอร์ความดันจากการกัดเบาท์ซิลิคอนเวเฟอร์	11
1.2.8 การประดิษฐ์หัวฉีดหมึกพิมพ์จากกระบวนการประดิษฐ์ไมโครแมชชีนนิ่ง ใน ค.ศ. 1979	12
1.2.9 กระบวนการลิทาร์ ใน ค.ศ. 1982	14
1.2.10 การประดิษฐ์ของกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม	14
1.2.11 การพัฒนาสิ่งประดิษฐ์เมมส์หลังจาก ค.ศ. 1980	16
1.2.12 มอดูเลเตอร์แสงแบบเกรตติง ใน ค.ศ. 1992	17
1.2.13 การปรากฏของกระบวนการเมมส์มัลติยูสเซอร์ ใน ค.ศ. 1993	18
1.2.14 การผลิตเซนเซอร์วัดความเร่งที่เรียกว่าแอคเซลโรมิเตอร์ครั้งแรก ใน ค.ศ. 1993	19
1.2.15 สิทธิบัตรกระบวนการกัดโดยการใช้ไอออนกระตุ้นในชั้นลึกลงใน ค.ศ. 1994	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.2.16 กำหนดอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ และไบโอเมมส์ระหว่าง ค.ศ. 1990-2000	22
1.3 ข้อเปรียบเทียบระหว่างระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาคกับไมโครอิเล็กทรอนิกส์	23
คำถามท้ายบท	26
บรรณานุกรม	27
บทที่ 2 หลักการทำงานของระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค	31
2.1 หลักการและส่วนประกอบพื้นฐานของเมมส์	33
2.1.1 หลักการทำงานของไมโครเซนเซอร์	33
2.1.2 หลักการทำงานของไมโครแอกทูเอเตอร์	35
2.1.3 หลักการทำงานของระบบจุลภาค	37
2.2 ประเภทของไมโครเซนเซอร์	38
2.2.1 ไมโครเซนเซอร์ความดัน	39
2.2.2 ไมโครเซนเซอร์ความร้อน	40
2.2.3 ไมโครเซนเซอร์ชีวการแพทย์และไมโครไบโอเซนเซอร์	45
2.2.4 ไมโครเซนเซอร์ทางเคมี	50
2.2.5 ไมโครเซนเซอร์เชิงแสง	54
2.3 ลักษณะของไมโครแอกทูเอเตอร์	56
2.3.1 ไมโครแอกทูเอเตอร์อาศัยแรงทางความร้อน	56
2.3.2 ไมโครแอกทูเอเตอร์โดยการใช้โลหะผสมจำรูป	59
2.3.3 ไมโครแอกทูเอเตอร์อาศัยหลักการแรงทางไฟฟ้าสถิต	60
2.3.4 ไมโครแอกทูเอเตอร์โดยการใช้หลักการเพียโซอิเล็กทริก	63
2.4 ประเภทของเมมส์ที่อาศัยการทำงานของไมโครแอกทูเอเตอร์	64
2.4.1 ไมโครกริปเปอร์	64
2.4.2 ไมโครมอเตอร์	67
2.4.3 ไมโครวาล์ว	68

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4 ไมโครปั๊ม	70
2.5 ไมโครแอกเซลโรมิเตอร์	71
2.6 ไมโครฟลูอิดิก	74
2.7 ห้องปฏิบัติการบนชิป	76
คำถามท้ายบท	77
บรรณานุกรม	78
บทที่ 3 กระบวนการประดิษฐ์ระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค	83
3.1 เซอร์เฟสไมโครแมชชีนนิ่ง	85
3.1.1 โฟโตลิโทกราฟี	85
3.1.2 การฝั่งไอออน	87
3.1.3 กระบวนการแพร์ซึม	88
3.1.4 กระบวนการออกซิเดชันทางความร้อน	89
3.1.5 การเคลือบด้วยไอระเหยของสารเคมี	91
3.1.6 การเคลือบด้วยไอระเหยทางกายภาพ	92
3.1.7 เอพิแทกซี	93
3.1.8 การกัด	94
3.2 เบาที่ไมโครแมชชีนนิ่ง	97
3.2.1 การกัดทางเคมี	97
3.2.2 การกัดทางกายภาพ	99
3.2.3 การกัดแบบใช้ไอออนกระตุ้นเชิงลึก	99
3.3 กระบวนการลิทาร์	100
คำถามท้ายบท	102
บรรณานุกรม	103

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 วัสดุสำหรับระบบเครื่องกลไฟฟ้าอุตสาหกรรม	105
4.1 ซิลิคอน	107
4.2 สารประกอบซิลิคอน	108
4.2.1 ซิลิคอนไดออกไซด์	108
4.2.2 ซิลิคอนคาร์ไบด์	109
4.2.3 ซิลิคอนไนไตรด์	109
4.2.4 ซิลิคอนโครงสร้างหลายผลึก	110
4.2.5 ซิลิคอนเพียโซรีซิสเตอร์	112
4.2.6 แกลเลียมอาร์เซไนด์	113
4.2.7 ควอตซ์	113
4.2.8 ผลึกเพียโซอิเล็กทริก	114
4.2.9 พอลิเมอร์	115
คำถามท้ายบท	117
บรรณานุกรม	118
บทที่ 5 ข้อมูลพื้นฐานของการบรรจุภัณฑ์แม่เหล็ก	119
5.1 บทนำของการบรรจุภัณฑ์ระบบไฟฟ้าเครื่องกลอุตสาหกรรม	121
5.2 การบรรจุภัณฑ์แม่เหล็กและการบรรจุภัณฑ์วงจรรวม	122
5.3 ข้อเปรียบเทียบระหว่างการบรรจุภัณฑ์แม่เหล็กและการบรรจุภัณฑ์วงจรรวม	123
5.4 ข้อมูลพื้นฐานของการบรรจุภัณฑ์แม่เหล็ก	125
5.4.1 การพิจารณาโดยทั่วไปในการออกแบบบรรจุภัณฑ์	125
5.4.2 ลำดับของบรรจุภัณฑ์แม่เหล็ก	125
5.5 ชนิดของบรรจุภัณฑ์แม่เหล็ก	131
5.5.1 บรรจุภัณฑ์ประเภทเซรามิก	132
5.5.2 บรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติก	132
5.5.3 บรรจุภัณฑ์ประเภทโลหะ	133

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.5.4 บรรจุภัณฑ์ประเภทเทอร์มาติก	134
5.5.5 บรรจุภัณฑ์นอลเทอร์มาติกพลาสติก	136
5.5.6 บรรจุภัณฑ์ประเภท Overmolding capped device	137
5.5.7 บรรจุภัณฑ์ประเภท Near hermetic	139
5.6 หลักการบรรจุภัณฑ์เมมส์	139
5.6.1 การเชื่อมต่อเชิงกล	140
5.6.2 การเชื่อมต่อทางชีวการแพทย์	142
5.6.3 การเชื่อมต่อเชิงแสง	142
5.6.4 การเชื่อมต่อของไมโครฟลูอิดิก	143
5.6.5 การเชื่อมต่อแรงจากภายนอก	144
5.7 การออกแบบบรรจุภัณฑ์เซนเซอร์แรงดัน	145
5.8 การวิจัยและพัฒนาการบรรจุภัณฑ์เมมส์	152
5.8.1 การออกแบบบรรจุภัณฑ์เมมส์แบบช่องว่าง	152
5.8.2 วัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์เมมส์แบบช่องว่าง	154
5.8.3 ความคุ้มค่าของราคา	157
5.8.4 การวิเคราะห์เชิงไฟไนต์เอลิเมนต์	158
5.8.5 กระบวนการประกอบ	161
5.8.6 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	165
5.8.7 สรุปผลการทดลอง	170
คำถามท้ายบท	171
บรรณานุกรม	172
บทที่ 6 การประยุกต์ใช้ระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค	175
6.1 หน้าจอสัมผัส	177
6.2 โพรเจคเตอร์	183
6.2.1 ซิปดีเอ็มดี	184

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.2 หลักการทำงานของชิปดีเอ็มดีในการฉายภาพโปรเจคเตอร์	187
6.3 เซนเซอร์เก็บประจุตรวจจับวัตถุ	191
6.3.1 หลักการทำงานของเซนเซอร์ตัวเก็บประจุ	191
6.3.2 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์ตัวเก็บประจุในอุตสาหกรรม	194
6.4 การตรวจจับการเคลื่อนไหวของโทรศัพท์มือถือด้วยแอกเซลโรมิเตอร์	195
6.4.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของแอกเซลโรมิเตอร์	197
6.4.2 หลักการทำงานของแอกเซลโรมิเตอร์ในการวัดความเอียงของโทรศัพท์มือถือ	199
6.4.3 การวัดอัตราเร่งของแอกเซลโรมิเตอร์ในโทรศัพท์มือถือ	203
6.5 ระบบถ่วงนิรภัยในรถยนต์	211
6.5.1 หลักการทำงานของระบบถ่วงนิรภัย	212
6.5.2 ลักษณะของถ่วงนิรภัย	214
6.6 หัวฉีดในหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ต	216
6.7 เซนเซอร์แรงดันสำหรับวัดลมยางรถยนต์	221
6.7.1 หลักการทำงานของเซนเซอร์แรงดัน	222
6.7.2 ชนิดของเซนเซอร์แรงดัน	222
6.7.3 ลักษณะการทำงานของเซนเซอร์แรงดันสำหรับวัดลมยางรถยนต์	230
6.8 เครื่องสแกนลายนิ้วมือ	233
คำถามท้ายบท	237
บรรณานุกรม	238
บทที่ 7 ระบบเครื่องกลไฟฟ้านาโน	243
7.1 บทนำของระบบเครื่องกลไฟฟ้านาโน	245
7.2 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม	250
7.3 วิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์เนมส์	251
7.3.1 วิธีการสร้างจากใหญ่ไปเล็ก	253

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.3.2 วิธีการสร้างจากเล็กไปใหญ่	254
7.4 วัสดุสำหรับประดิษฐ์เนมส์	255
7.4.1 อัญรูปคาร์บอน	255
7.4.2 ท่อนาโนคาร์บอนโลหะ	257
7.5 ไบโอเนมส์	260
7.6 การสร้างแบบจำลองอุปกรณ์เนมส์	262
7.7 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แคนดิลีเวอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์เนมส์ สำหรับการตรวจจับเซลล์มะเร็ง	264
7.7.1 ลักษณะของโครงสร้างแคนดิลีเวอร์ในการตรวจจับเซลล์มะเร็ง	265
7.7.2 หลักการทำงานของแคนดิลีเวอร์ตรวจจับเซลล์มะเร็ง	266
7.8 อนาคตของระบบเครื่องกลไฟฟ้านาโน	268
คำถามท้ายบท	271
บรรณานุกรม	272
ดัชนี	279