สารบัญ

ตอนที่ V สิ่งประดิษฐ์เลเซอร์และการใช้งาน

	หน้า
บทที่ 31 เลเซอร์	1
31.1 แสงเลเซอร์คืออะไร	1
31.2 แสงโคฮีเรนต์และแสงอินโคฮีเรนต์	6
31.2.1 ความเป็นโคฮีเรนซ์ชนิดเวลา (Temporal Coherence)	7
31.2.2 ความเป็นโคฮีเรนซ์ชนิดปริภูมิ (Spatial Coherence)	11
31.3 คุณสมบัติทั่วไปของแสงเลเซอร์	13
31.4 หลักการกำเนิดแสงเลเซอร์	14
31.4.1 การดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงแบบธรรมชาติ (Spontaneous Emission)	14
31.4.2 การเปล่งแสงแบบเร่งเร้า (Stimulated Emission) และการขยายสัญญาณแสง	16
31.4.2.1 ปรากฏการณ์ประชากรผกผัน (Population Inversion)	17
31.4.2.2 อัตราการขยายแสง (Magnification of Light Amplification)	20
31.5 ออปติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical Resonator)	22
31.6 โมดของแสงเลเซอร์	25
31.6.1 การเปล่งแสงเลเซอร์ชนิดโมดตามยาว (Longtitudinal Mode)	25
31.6.2 การเปล่งแสงเลเซอร์ชนิดโมดตามขวาง (Transverse Mode)	29
31.7 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดเลเซอร์และวิธีการกระตุ้น	31
31.7.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดเลเซอร์	31
บทที่ 32 เลเซอร์ชนิดก๊าซ (Gas Laser)	35
32.1 เลเซอร์ชนิดฮีเลียมนีออน (He-Ne Laser)	35
32.1.1 โครงสร้างของเลเซอร์ชนิดฮีเลียมนีออน	36
32.1.2 กลไกการเปล่งแสงของเลเซอร์ชนิดฮีเลียมนีออน	38
32.1.3 โหมดตามยาวของเลเซอร์ชนิดฮีเลียมนีออน	40
32.1.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเลเซอร์ชนิดฮีเลียมนีออน	41
32.2 เลเซอร์ชนิดอาร์กอนไอออน (Ar^+ Laser)	41
32.2.1 โครงสร้างของเลเซอร์ชนิดอาร์กอนไอออน	42

32.2.2 กลไกการเปล่งแสงของเลเซอร์ชนิดอาร์กอนไอออน 43
32.2.3 เส้นสเปกตรัมและโหมดตามยาวของเลเซอร์ชนิด Ar^+ 44
32.2.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเลเซอร์ชนิด Ar^+ 46
32.3 เลเซอร์ชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Laser) 46
32.3.1 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดเลเซอร์ชนิด CO_2 47
32.3.2 กลไกการเปล่งแสงของเลเซอร์ชนิด CO_2 48
32.4 เลเซอร์ชนิดเอกไซเมอร์ (Excimer Laser) 50
32.5 เลเซอร์ชนิดไนโตรเจน (N_2 Laser) 52
32.6 เลเซอร์ชนิดฮีเลียมแคดเมียม (Helium-Cadmium Laser) 54
บทที่ 33 เลเซอร์ชนิดของแข็ง (Solid State Laser) 57
33.1 เลเซอร์ชนิดทับทิม (Ruby Laser) 57
33.1.1 โครงสร้างของเลเซอร์ชนิดทับทิม 57
33.1.2 กลไกการเกิดเลเซอร์ชนิดทับทิม 58
33.2 เลเซอร์ชนิด YAG (Nd-YAG Laser) 59
33.2.1 โครงสร้างของเลเซอร์ชนิด Nd-YAG 60
33.2.2 กลไกการเกิดเลเซอร์ชนิด YAG 62
33.3 เลเซอร์ชนิดแก้ว (Nd-Glass Laser) 63
33.3.1 โครงสร้างของเลเซอร์ชนิด Nd-glass 63
33.3.2 กลไกการเกิดเลเซอร์ชนิด Nd-glass 64
33.3.3 ลักษณะสมบัติของเลเซอร์ชนิด Nd-glass 64
33.3.4 กรณีวัสดุตัวกลางมีรูปร่างเป็นแผ่นแบน 65
33.3.5 แอมพลิฟายเออร์สำหรับเลเซอร์ชนิด Nd-glass 65
33.4 การทำงานของเลเซอร์ชนิดของแข็งแบบ Q-switch 66
บทที่ 34 เลเซอร์ชนิดสารกึ่งตัวนำ (เลเซอร์ไดโอด) 71
34.1 กลไกการเปล่งแสงของเลเซอร์ไดโอด 72
34.2 เลเซอร์ไดโอดชนิดรอยต่อดับเบิลเฮเทโร 75
34.3 เลเซอร์ไดโอดโครงสร้างสทริปและรอยต่อแบบดับเบิลเฮเทโร 77
34.4 ลักษณะสมบัติของเลเซอร์ไดโอด 79
34.5 เลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงที่ตามองเห็น 86
34.6 เลเซอร์ไดโอดชนิดเปล่งแสงจากผิวระนาบ 87
34.7 การขับเลเซอร์ไดโอด 89

34.7.1 การประวิงเวลาก่อนการเลซิง 89
34.7.2 อิทธิพลของอุณหภูมิ 91
34.7.3 อิทธิพลของการมอดูเลตเลเซอร์ไดโอด 93
บทที่ 35 เลเซอร์ชนิดของเหลว (Dye Laser) 101
35.1 โครงสร้างของเลเซอร์ชนิดดาย 102
บทที่ 36 เลเซอร์ชนิดอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron Laser) 107
36.1 ประวัติความเป็นมา 107
36.2 หลักการทำงานของเลเซอร์ชนิดอิเล็กตรอนอิสระ 108
36.3 คุณสมบัติเด่นของเลเซอร์ชนิดอิเล็กตรอนอิสระ 110
36.4 การใช้งานเลเซอร์ชนิดอิเล็กตรอนอิสระ 110
บทที่ 37 การประยุกต์ใช้งานเลเซอร์ 113
37.1 การกำหนดเส้นปรับแนวด้วยเลเซอร์ 114
37.1.1 การสร้างเส้นปรับแนวด้วยเลเซอร์ 115
37.1.2 การใช้เลเซอร์เป็นเส้นขีดบนผิววัสดุ 115
37.1.3 การใช้เลเซอร์เป็นลำแสงหมุน 117
37.2 การวัดระยะทางและความยาวด้วยเลเซอร์ 118
37.2.1 วิธีวัดระยะทางโดยอาศัยหลักการแทรกสอดของแสง 118
37.2.2 วิธีวัดระยะทางโดยวิธีการมอดูเลตแสงเลเซอร์ 121
37.2.3 วิธีวัดระยะทางโดยวิธีพัลส์ 122
37.3 การวัดขนาดภายนอกวัตถุด้วยเลเซอร์ 123
37.3.1 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุที่เป็นเส้นยาว 123
37.3.2 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุขนาดใหญ่ 123
37.4 การตรวจความขรุขระของผิววัสดุด้วยเลเซอร์ 124
37.4.1 การตรวจความขรุขระของผิวด้วยวิธีฟลายอิงสป็อต 126
37.5 การวัดแนวนอน 128
37.5.1 การวัดแนวนอนด้วยวิธีเปรียบเทียบระยะห่างกับแนวนอนมาตรฐาน 128
37.5.2 การวัดแนวนอนด้วยวิธีการแทรกสอดที่เกิดจากการยิงแสงเข้าเฉียง ๆ 129
37.6 การตรวจและวัดแบบลวดลายด้วยฮอโลกราฟี 133
37.6.1 ฮอโลกราฟี 134
37.6.1.1 หลักการของฮอโลกราฟี 135
37.6.1.2 ลักษณะเด่นของฮอโลกราฟี 136
37.6.2 การวัดทางอุตสาหกรรมด้วยเทคนิคฮอโลกราฟี 138

37.6.2.1 การวัดภาพสามมิติ 138
37.6.2.2 การวัดรูปร่างวัตถุ 139
37.6.2.3 การวัดการเปลี่ยนรูปทรง 142
37.6.2.4 การวัดการสั่นสะเทือน 144
37.6.3 แนวทางการใช้งานฮอโลกราฟีในงานวัดและข้อควรระวัง 145
37.7 การวัดความเร็วและความเร็วรอบด้วยเลเซอร์ 146
37.7.1 เครื่องวัดความเร็วด้วยวิธีเลเซอร์ดอปเพลอร์ 146
37.7.2 เครื่องวัดความเร็วรอบด้วยวิธีเลเซอร์ดอปเพลอร์ 151
37.7.3 เลเซอร์ไจโรสโกป 152
37.8 เลเซอร์เรดาร์ 156
37.9 แผ่นซีดี 160
37.9.1 คุณสมบัติเด่นของแผ่นซีดี 161
37.9.2 โครงสร้างของแผ่นซีดี 161
37.9.3 เทคโนโลยีการบันทึกและสร้างร่องลงบนแผ่นซีดี 163
37.9.4 วิธีการอ่านข้อมูลจากแผ่นซีดี 166
37.10 แผ่นดีวีดี 167
37.10.1 โครงสร้างของแผ่นดีวีดี 168
37.10.2 ชุดหัวอ่านแสง 170
37.11 เลเซอร์สแกนเนอร์ 171
37.12 การใช้เลเซอร์ในการขึ้นรูปชิ้นงาน 175
37.12.1 ชนิดของเลเซอร์ที่ใช้ในงานขึ้นรูปชิ้นงาน 176
37.12.2 ชนิดของการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเลเซอร์ 177
37.12.3 ฟิสิกส์พื้นฐานของการขึ้นรูปด้วยเลเซอร์ 179
37.12.3.1 โมดของเลเซอร์ 179
37.12.3.2 ความสามารถในการรวมแสงเลเซอร์ 180
37.12.3.3 ลักษณะสมบัติการดูดกลืนแสงของวัสดุ 185
37.12.3.4 การเดินทางของแสงเลเซอร์ในรู 187
37.12.4 โครงสร้างของเครื่องมือขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเลเซอร์ 188
37.12.5 ตัวอย่างการใช้งานจริง 191
37.12.5.1 การเจาะรูด้วยเลเซอร์ 191
37.12.5.2 การตัดด้วยเลเซอร์ 193
37.12.5.3 การทำทริมมิงด้วยเลเซอร์ 195
37.12.5.4 การทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์ 195

37.12.5.5 การเชื่อมด้วยเลเซอร์ 196
37.12.5.6 การเผาผิววัสดุด้วยเลเซอร์ 197
37.12.5.7 เลเซอร์แอนนีลิง (Laser Annealing) ของสารกึ่งตัวนำ 197
37.13 การใช้งานเลเซอร์ในด้านการแพทย์ 197
37.13.1 ความแตกต่างในการดูดกลืนแสงเลเซอร์ด้วยอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย 197
37.13.2 การผ่าตัดกรีดด้วยเลเซอร์ 201
37.13.3 การห้ามเลือดด้วยเลเซอร์ 204
37.14 การประยุกต์ใช้งานเลเซอร์ในด้านพลังงาน 205
37.14.1 เลเซอร์ฟิวชัน (Laser Fusion) 206
37.14.2 การแยกไอโซโทป 209
37.15 การใช้เลเซอร์ในงานด้านอื่น ๆ 211
37.15.1 การใช้เลเซอร์ไดโอดตรวจวัดความขรุขระของผิววัสดุ 211
37.15.2 การใช้แสงเลเซอร์วัดขนาดของวงจรใน VLSI 213
37.15.3 การใช้งานไฟเบอร์เซ็นเซอร์ 214

ตอนที่ VI การสื่อสารด้วยแสง

บทที่ 38 การสื่อสารด้วยแสง 221
38.1 การสื่อสารด้วยแสงคืออะไร 221
38.2 ลักษณะเด่นของการสื่อสารด้วยแสง 225
38.3 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง 227
38.4 สิ่งประดิษฐ์เปล่งแสงสำหรับการสื่อสารด้วยแสง 228
38.4.1 ไดโอดเปล่งแสงสำหรับการสื่อสารด้วยแสง 228
38.4.2 เลเซอร์ไดโอดสำหรับการสื่อสารด้วยแสง 230
38.4.2.1 เลเซอร์ไดโอดชนิดแฟบรีเพรอต 231
(Fabry-Perot Type Laser Diode)
38.4.2.2 เลเซอร์ไดโอดชนิดซิงเกิลโมด 233
(Single Mode Type Laser Diode)
38.5 มอดูลของเลเซอร์ไดโอด 236
38.5.1 โครงสร้างของมอดูลของเลเซอร์ไดโอด 236
38.5.2 ลักษณะสมบัติของมอดูลของเลเซอร์ไดโอด 239
38.6 สิ่งประดิษฐ์ตรวจรับแสงสำหรับการสื่อสารด้วยแสง 241

38.7 เส้นใยแสง (Optical Fiber) 246
38.7.1 โครงสร้างของเส้นใยแสง 246
38.7.2 คุณสมบัติของแสงที่เดินทางในเส้นใยแสง 248
38.7.3 แบนด์วิดท์ของเส้นใยแสง 252
38.7.4 ชนิดของเส้นใยแสง 253
38.7.5 การวัดลักษณะสมบัติของเส้นใยแสง 256
38.7.5.1 การวัดการสูญเสียของแสงในเส้นใยแสง 256
38.7.5.2 การวัดแบนด์วิดท์ฐานของเส้นใยแสง 258
38.7.6 เคเบิลใยแสง 259
38.8 สิ่งประดิษฐ์ทางแสงชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในการสื่อสารด้วยแสง 261
38.8.1 ออปติคัลคอนเนกเตอร์ 262
38.8.1.1 การสูญเสียสัญญาณแสงในกรณีต่อเส้นใยแสงชนิดสเต็ปอินเดกซ์ไม่ดี 265
38.8.2 เครื่องแยกแสงและเครื่องเชื่อมต่อแสง 267
38.8.3 เครื่องมัลติเพลกเซอร์แสงและเครื่องดีมัลติเพลกเซอร์แสง 271
38.8.4 เครื่องลดทอนสัญญาณแสง 274
38.8.5 เครื่องออปติคัลไอโซเลเตอร์ 277
38.8.6 สวิตช์แสง 280
38.9 ระบบการสื่อสารด้วยแสง 283
38.9.1 การมอดูเลตสัญญาณแสง 284
38.9.1.1 การมอดูเลตแอมพลิจูดของแสงโดยตรงในไดโอดเปล่งแสง 284
38.9.1.2 การมอดูเลตแอมพลิจูดของแสงโดยตรงในเลเซอร์ไดโอด 286
38.9.2 การดีมอดูเลตสัญญาณแสง 288
38.9.3 ระบบการส่งสัญญาณแสงแบบดิจิทัล 290
38.9.4 ระบบการส่งสัญญาณแสงแบบแอนะล็อก 292

ตอนที่ VII สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ

บทที่ 39 พื้นฐานเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 299
39.1 บทนำ 299
39.2 อะมอร์ฟัสคืออะไร 300

39.3 คุณสมบัติสำคัญของสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 300
39.4 คุณสมบัติดีเด่นของวัสดุฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย 302
39.4.1 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย 307
39.4.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน 308
39.4.1.2 ทรานซิสเตอร์ฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน 308
39.4.1.3 สิ่งประดิษฐ์ตรวจวัดสีของแสงชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน 310
39.4.1.4 หลอดถ่ายภาพวิดีโอ 310
39.4.1.5 ดรัมถ่ายเอกสาร 310
39.4.1.6 ไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย 310
39.5 การประดิษฐ์อะมอร์ฟัสซิลิคอน 312
39.5.1 โครงสร้างของระบบพลาสมาซีวีดี 313
39.5.2 ขั้นตอนการประดิษฐ์อะมอร์ฟัสซิลิคอน 318
39.6 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si:H) 320
39.6.1 โครงสร้างของ a-Si:H 320
39.6.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของ a-Si:H 322
39.6.2.1 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงอินฟราเรดและจำนวนของโมเลกุลที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรดของ a-Si:H 323
39.6.2.2 อิทธิพลของเงื่อนไขการผลิตที่มีต่อจำนวนของอะตอมไฮโดรเจนใน a-Si:H 325
39.6.3 การวัดจำนวนแขนขาดใน a-Si:H ด้วยวิธีอิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์ 326
39.6.3.1 หลักการวัดอิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์ 328
39.7 คุณสมบัติทางแสงของอะมอร์ฟัสซิลิคอน 333
39.7.1 แบบจำลองของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 334
39.7.1.1 คุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกของสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัสตระกูลเททราเฮดรัลและตระกูลแคลโคเกไนด์ 334
39.7.1.2 แบบจำลองของแถบพลังงาน (Band Model) 335
39.7.2 การดูดกลืนแสงและการกำหนดช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 337
39.7.3 ประสิทธิภาพควอนตัมของการนำไฟฟ้าด้วยแสงในสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 344
39.8 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอะมอร์ฟัสซิลิคอน 347
39.8.1 การนำไฟฟ้ากระแสตรงในสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 347
39.8.1.1 การขนส่งในแถบพลังงาน (Band Transport) 347

39.8.1.2 การขนส่งด้วยวิธีฮอปปิง (Hopping Transport) 349
39.8.2 การนำไฟฟ้าด้วยแสง 350
39.8.3 การนำไฟฟ้าชนิดดิสเพอร์ชัน 352
39.8.4 การพัดพาและการแพร่ซึม 355
39.9 การโดปอะมอร์ฟัสซิลิคอนให้เป็น ชนิด p และ n 355
39.9.1 หลักการโดปสารกึ่งตัวนำชนิดผลึก 355
39.9.2 หลักการโดปสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 356
39.9.3 การโดปอะมอร์ฟัสซิลิคอนด้วยวิธีพลาสมาซีวีดี 357
39.9.4 แบบจำลองการแจกแจงโลคอไลซ์สเตตและการโดป a-Si:H 361
39.9.5 แบบจำลองของการเกิดจุดบกพร่องอันเนื่องจากการโดป 366
39.10 การเสื่อมคุณภาพของ a-Si:H ด้วยแสง 369
39.10.1 ปรากฏการณ์สเตบเบลอร์-รอนสกี 369
39.10.2 การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของจุดบกพร่อง 370
39.10.3 การลดลงของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ 373
39.10.4 แบบจำลองการเกิดจุดบกพร่อง 374
39.11 การวัดค่าคงตัวทางแสงของ a-Si:H ด้วยวิธีคราเมอร์ส-ครอนิก 375
39.12 การวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงและความหนาแน่นของโลคอไลซ์สเตตของ a-Si:H ด้วยวิธี CPM 380
39.12.1 หลักการวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงด้วยวิธี CPM 381
บทที่ 40 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน 395
40.1 ประวัติการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของอะมอร์ฟัสซิลิคอน 395
40.2 คุณสมบัติดีเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของอะมอร์ฟัสซิลิคอน 396
40.3 พื้นฐาน 397
40.4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H รอยต่อ p-i-n 400
40.5 ปรากฏการณ์โฟโตโวลทาอิกชนิดพัดพาในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H รอยต่อ p-i-n 404
40.6 กระบวนการผลิตพาหะด้วยแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H รอยต่อ p-i-n 407
40.7 ลักษณะของสนามไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H รอยต่อ p-i-n 411

40.8 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพของการผลิตพาหะและการกวาดเก็บพาหะในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H รอยต่อ p-i-n 414
40.9 เทคนิคการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H รอยต่อ p-i-n ในภาคปฏิบัติ 417
40.10 การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H ด้วยรอยต่อเฮเทโรของ p-a-SiC:H/i-a-Si:H 421
40.11 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ให้แรงดันเอาต์พุตสูงด้วยโครงสร้างอินทิเกรต 427
40.12 การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H ที่ให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตสูงด้วยโครงสร้างทันเดม 433
40.12.1 หลักการทำงานและการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างทันเดม 434
40.12.2 การหาค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างทันเดม 436
40.12.3 การออกแบบความหนาของชั้น i ในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละตัว 438
40.12.4 ตัวอย่างการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างทันเดม 439
40.13 เซลล์แสงอาทิตย์รอยต่อเฮเทโรของไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอนและโพลีคริสตัลไลน์ซิลิคอน 445
40.13.1 การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์รอยต่อเฮเทโรของไมโครคริสตัลไลน์-ซิลิคอนและโพลีคริสตัลไลน์ซิลิคอน 446
40.13.2 คุณสมบัติพื้นฐานของไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอน 448
40.14 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H 453
40.15 การวัดค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H ด้วยคอมพิวเตอร์ 455
40.15.1 โครงสร้างของระบบการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแสงอาทิตย์เทียม 456
40.15.2 หลักการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ 456
40.16 แนวทางการวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน -อดีต ปัจจุบัน อนาคต- 459
40.16.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H 459
40.16.1.1 การพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกฟิล์ม a-Si:H, a-SiGe:H, a-SiC:H 460
40.16.1.2 การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบต่าง ๆ 463

บทที่ 41 ไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางของอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย 481
41.1 โครงสร้างพื้นฐานและคุณสมบัติดีเด่นของไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางของอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย 481
41.2 คุณสมบัติทางแสงของอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย 485
41.2.1 ช่องว่างพลังงาน 485
41.2.2 การเปล่งแสงโฟโตลูมิเนสเซนซ์ 487
41.3 ลักษณะสมบัติพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบาง 489
41.3.1 ลักษณะสมบัติของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบาง 490
41.3.2 สเปกตรัมการเปล่งแสงของไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบาง 491
41.3.3 ความสว่างและการตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าพัลส์ 493
41.3.4 กลไกการฉีดพาหะในไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบาง 497
41.3.5 การวิเคราะห์กลไกการฉีดพาหะและกลไกการรวมตัวของพาหะในไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย 498
41.3.6 ความหนาที่เหมาะสมของชั้น i ในไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบาง 502
41.4 การผลิตไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางที่เปล่งแสงเป็นรูปร่างต่าง ๆ 506
41.5 การปรับปรุงความสว่างของไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย 509
41.5.1 การปรับปรุงความสว่างโดยการใช้แผ่นฐานชนิดโลหะ 509
41.5.1.1 คุณสมบัติดีเด่นของการใช้แผ่นฐานชนิดโลหะ 509
41.5.1.2 การประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางซึ่งใช้แผ่นฐานชนิดโลหะ 510
41.5.1.3 ผลการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางซึ่งใช้แผ่นฐานชนิดโลหะ 511
41.5.2 การเพิ่มประสิทธิภาพของการฉีดโฮลด้วยไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอนออกไซด์ชนิดพี 515
41.6 การพัฒนาไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางที่มีโครงสร้างเมทริกซ์สำหรับจอดิสเพลย์แบบบางชนิดใหม่ 518
41.7 การประยุกต์ใช้งานไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางในโฟโตคัปเปลอร์ชนิดสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 524
41.7.1 ลักษณะเด่นของโฟโตคัปเปลอร์ชนิดสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 525
41.7.2 โครงสร้างของโฟโตคัปเปลอร์ชนิดอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ 525

41.7.3 คุณสมบัติพื้นฐานของโฟโตคัปเปลอร์ชนิดฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 528
41.8 การพัฒนาวงจรรวมออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 532
41.8.1 คุณสมบัติเด่นของ OEICs ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย 532
41.8.2 ตัวอย่างการออกแบบ OEICs ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย 533
41.8.3 การออกแบบให้ผิวของกระจกฝาทำหน้าที่เป็น Distributed Bragg Reflector สำหรับ OEICs 533
บทที่ 42 สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัสอื่น ๆ 549
42.1 เซ็นเซอร์ตรวจวัดสีของแสงชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน 549
42.1.1 เซ็นเซอร์ตรวจวัดสีของแสงชนิดสีเดียว 553
42.1.2 เซ็นเซอร์ตรวจวัดสีของแสงชนิดหลายสีที่ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ 2 ตัว 555
42.1.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดสีของแสงชนิดหลายสีที่ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ 3 ตัว 556
42.1.4 ตัวอย่างการออกแบบวงจรประมวลผลของเซ็นเซอร์สีชนิด a-Si:H 558
42.2 อิมเมจเซ็นเซอร์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน 561
42.2.1 โครงสร้างของโฟโตไดโอดในอิมเมจเซ็นเซอร์ชนิด a-Si:H 563
42.2.2 หลักการทำงานของอิมเมจเซ็นเซอร์ชนิด a-Si:H 566
42.3 หลอดถ่ายภาพวิดีโอชนิดสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 566
42.4 ดรัมชนิดสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัสสำหรับเครื่องถ่ายเอกสารและเลเซอร์พรินเตอร์ 569
42.5 ทรานซิสเตอร์ชนิดฟิล์มบางของ a-Si:H 571
42.6 สิ่งประดิษฐ์ตรวจวัดตำแหน่งของแสงชนิด a-Si:H 580
42.7 สิ่งประดิษฐ์ตรวจวัดรังสีเอกซ์ชนิด a-Si:H 583

ตอนที่ VIII สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดควอนตัมเวลล์

บทที่ 43 ฟิสิกส์พื้นฐานของควอนตัมเวลล์ 591
43.1 นิยามของซูเปอร์แลตทิซและแถบพลังงาน 592
43.2 สถานะของอิเล็กตรอนในซิงเกิลควอนตัมเวลล์ 597
43.2.1 ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในซิงเกิลควอนตัมเวลล์ 597
43.2.2 ความหนาแน่นของสเตตของอิเล็กตรอนในซิงเกิลควอนตัมเวลล์ 601

43.3 สถานะของอิเล็กตรอนในซูเปอร์แลตทิซ 606
43.4 การดูดกลืนแสงโดยซูเปอร์แลตทิซ 613
43.4.1 ขอบของการดูดกลืนแสงในซูเปอร์แลตทิซ 614
43.4.2 อิทธิพลของเอกซิตอน 617
43.4.3 ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของซูเปอร์แลตทิซชนิด $GaAs/Al_xGa_{1-x}As$ 619
43.5 การเปล่งแสงโดยซูเปอร์แลตทิซ 622
43.5.1 อิทธิพลของความหนาของชั้นบ่อที่มีต่อความยาวคลื่นของสเปกตรัมการเปล่งแสง 623
43.5.2 อิทธิพลของความหนาของชั้นบ่อที่มีความกว้างของสเปกตรัมการเปล่งแสง 625
43.5.3 อิทธิพลของสารเจือปนและ Anti-Burstein Shift 626
43.5.4 การเกิดเอกซิตอนที่อุณหภูมิห้อง 627
43.6 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของซูเปอร์แลตทิซ 629
43.6.1 ปรากฏการณ์ชุบนิคอฟ เดอฮาส (Shubnikov-de Haas Effect) 629
43.6.2 การเกิดปรากฏการณ์ก๊าซอิเล็กตรอนแบบ 2 มิติ 630
43.6.3 โครงสร้างซูเปอร์โดป 635
43.7 ซูเปอร์แลตทิซชนิดสเตรน (Strained Layer Superlattice) 637
43.8 ควอนตัมไวร์และควอนตัมด็อต 638
43.8.1 ความหนาแน่นของสเตตในควอนตัมไวร์ 639
43.8.2 ความหนาแน่นของสเตตในควอนตัมด็อต 639
43.9 ซูเปอร์แลตทิซชนิด nipi 645
43.10 ซูเปอร์แลตทิซชนิดวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอน 647
บทที่ 44 สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดควอนตัมเวลล์ 659
44.1 เลเซอร์ไดโอดชนิดควอนตัมเวลล์ 659
44.1.1 ประวัติการวิจัยเลเซอร์ไดโอดชนิดควอนตัมเวลล์ 660
44.1.2 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดชนิดควอนตัมเวลล์ 662
44.1.3 ลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของเลเซอร์ไดโอดชนิดควอนตัมเวลล์ 666
44.1.3.1 กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยน 666
44.1.3.2 ลักษณะสมบัติของอุณหภูมิ 671
44.1.3.3 การขึ้นกับทิศทางของเกน 671
44.1.3.4 การสูญเสียที่น้อยในการใช้งาน MQW เป็นทางนำแสง 672
44.1.3.5 การลดลงของช่องว่างพลังงาน 674

44.1.3.6 ลักษณะสมบัติการจูน 676
44.1.3.7 เสถียรภาพของสเปกตรัมของเลเซอร์ 677
44.1.3.8 ลักษณะสมบัติการมอดูเลต 679
44.1.3.9 ความกว้างของสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอด 683
44.1.3.10 ปรากฏการณ์เชิร์ปปิงของความยาวคลื่น 684
44.1.4 เลเซอร์ไดโอดชนิดควอนตัมเวลล์แบบต่าง ๆ 684
44.1.4.1 เลเซอร์ไดโอดชนิดวินโดว์สไตร์ป MQW 684
44.1.4.2 เลเซอร์ไดโอดชนิดฝัง MQW 684
44.1.4.3 เลเซอร์ไดโอดชนิด MQW ซึ่งมีออปติคัลมอดูเลเตอร์อยู่ภายใน 686
44.1.4.4 เลเซอร์ไดโอดชนิด MQW ที่เปล่งแสงมองเห็น 688
44.1.4.5 เลเซอร์ไดโอดชนิดควอนตัมเวลล์ที่เปล่งแสงอินฟราเรด 692
44.2 สิ่งประดิษฐ์เอกซิตอนิกชนิดควอนตัมเวลล์ 693
44.2.1 สิ่งประดิษฐ์ออปติคัลไบสเตเบิล 693
44.2.2 สิ่งประดิษฐ์ออปติคัลมอดูเลเตอร์ซึ่งใช้ปรากฏการณ์สตาร์ก 695
44.2.3 สิ่งประดิษฐ์ออปติคัลไบสเตเบิลชนิด SEED 698
44.2.4 การสร้างโมดล็อกกิงด้วยมัลติควอนตัมเวลล์ให้กับเลเซอร์ไดโอด 703
44.2.5 สิ่งประดิษฐ์วัดความยาวคลื่นแสง 703
44.2.6 สิ่งประดิษฐ์แยกแสงออกตามความยาวคลื่น 704
44.3 อะวะลานช์โฟโตไดโอดชนิดควอนตัมเวลล์ 706
44.3.1 อะวะลานช์โฟโตไดโอดชนิดซูเปอร์แลตทิซ (SL-APD) 708
44.3.2 อะวะลานช์โฟโตไดโอดชนิดขั้นบันได (SC-APD) 709
44.3.3 อะวะลานช์โฟโตไดโอดชนิดช่องว่างพลังงานมีความลาด (GB-APD) 710
44.3.4 อะวะลานช์โฟโตไดโอดชนิดชันแนลลิง (CH-APD) 710

ตอนที่ IX สถานภาพของการวิจัยออปโตอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

บทที่ 45 การวิจัยการประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย 723
45.1 การประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงชนิด AlGaAs/GaAs 723
45.1.1 เทคโนโลยีการปลูกผลึกวิธี LPE 724
45.1.2 ขั้นตอนการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงและผลที่ได้ 728

45.2 การประดิษฐ์เลเซอร์ไดโอดชนิด AlGaAs/GaAs 730
45.2.1 การประดิษฐ์เลเซอร์ไดโอดที่มีโครงสร้าง DH, LOC, SCH 731
45.2.2 การประดิษฐ์เลเซอร์ไดโอดที่มีโครงสร้าง BH 734
45.3 การประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 736
45.3.1 การประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางที่เปล่งแสงภาพนิ่ง 736
45.3.2 การประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางซึ่งใช้โลหะเป็นแผ่นฐาน 742
45.3.3 การประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางโครงสร้างเมทริกซ์ 744
45.4 การประดิษฐ์โฟโตคัปเปลอร์ชนิดสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส 747
45.5 การประดิษฐ์วงจรรวมออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิด a-Si:H 748
45.6 การประดิษฐ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดสีของแสงชนิด a-Si:H 752
45.7 การประดิษฐ์ดิสเพลย์ชนิดอิเล็กโทรลูมิเนสเซนต์ (EL) ของ ZnS 754
45.7.1 การปลูกฟิล์มบาง ITO สำหรับขั้วไฟฟ้าโปร่งใส 755
45.7.2 การปลูกฟิล์มบาง Y_2O_3 สำหรับชั้นฉนวน 757
45.7.3 การปลูกฟิล์มบาง ZnS สำหรับชั้นเปล่งแสง 757
45.8 การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก Si 759
45.8.1 การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Si รอยต่อ p-n 760
45.9 การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลี Si 765
45.10 การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน 766
45.10.1 การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H รอยต่อเฮเทโรของ a-SiC:H/a-Si:H 766
45.10.2 การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H ที่มีโครงสร้างแบบอินทิเกรต 768
45.10.3 การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H ที่มีโครงสร้างแบบมัลติเลเยอร์ 771
45.10.4 การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H ที่มีโครงสร้างเฮเทโรของ a-Si:H/ผลึกโพลี Si 772
45.11 การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $CuInSe_2$ 773
45.12 การประดิษฐ์โฟโตไดโอดชนิด Si 774
45.13 การประดิษฐ์พินโฟโตไดโอดชนิด Si 776
45.14 การประดิษฐ์โฟโตทรานซิสเตอร์ชนิด GaAs 778
45.15 การประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์ตรวจวัดรังสีแอลฟาชนิดผลึก Si 780
45.15.1 การประดิษฐ์หัวตรวจวัดรังสีแอลฟาชนิดรอยต่อ p-n 781

45.15.2 การประดิษฐ์หัวตรวจวัดรังสีแอลฟาชนิดรอยต่อชอตต์กีแบร์เรียร์ 782
45.16 การประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์มัลติควอนตัมเวลล์ของ AlGaAs/GaAs 784
45.16.1 โครงสร้างของระบบ MBE ซึ่งติดตั้งที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 786
45.16.1.1 MBE คืออะไร 786
45.16.1.2 ทำไมต้องเป็น MBE 787
45.16.1.3 โครงสร้างของ MBE 788
45.16.2 ห้องสะอาดและระบบไนโตรเจนเหลว 794
45.16.3 วิธีการปลูกผลึกควอนตัมเวลล์ชนิด AlGaAs/GaAs ด้วยวิธี MBE 796
45.16.4 ผลการปลูกฟิล์มผลึกควอนตัมเวลล์ชนิด AlGaAs/GaAs 798
45.16.4.1 คุณสมบัติทางโครงสร้าง 798
45.16.4.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้า 800
45.16.4.3 คุณสมบัติทางแสง 800
45.17 การประดิษฐ์มัลติควอนตัมเวลล์ของ InGaAs/GaAs 801
45.18 การปะดิษฐ์พอรัสซิลิคอน 802
บทที่ 46 การวิจัยและพัฒนาออปโตอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย 811
46.1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 811
46.1.1 ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ 811
46.1.1.1 การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะต่าง ๆ 811
46.1.1.2 เทคโนโลยีเลเซอร์ 812
46.1.1.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำสำหรับการใช้งานออปโตอิเล็กทรอนิกส์ 814
46.1.2 ห้องปฏิบัติการวิจัยสื่อสาร ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ 817
46.1.3 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ 819
46.2 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 820
46.2.1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ 820
46.2.2 ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ 821
46.3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 823
46.3.1 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ 823
46.3.2 คณะพลังงานและวัสดุ 825
46.4 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 825

46.4.1 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ 825
46.4.2 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ 828
46.5 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 829
46.6 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 830
46.7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 830
46.8 มหาวิทยาลัยมหิดล 831
46.9 มหาวิทยาลัยศิลปากร 831
46.10 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 831
46.11 ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ 831
46.12 ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ 836
46.13 ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ 836
46.13.1 ความเป็นมาและประโยชน์ของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน 836
46.13.2 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน 838
46.14 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย 839

บทที่ 47 สถานภาพของการใช้งานและอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย 843

47.1 กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม 843
47.1.1 งานพัฒนาชนบท 845
47.1.2 งานศึกษา วิจัยด้านพลังงาน 845
47.2 กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย 847
47.2.1 โครงการพัฒนาชนบทโดยใช้พลังงานทดแทน 847
47.3 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 849
47.3.1 สถานีเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลม แหลมพรมเทพ จังหวัดภูเก็ต 851
47.3.2 สถานีเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานน้ำ คลองช่องกล่ำ จังหวัดสระแก้ว 852
47.3.3 สถานีเซลล์แสงอาทิตย์ อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ 853
47.3.4 โครงการสาธิตระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน กรุงเทพมหานคร 854
47.4 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 862
47.4.1 โครงการจ่ายไฟฟ้าให้หมู่บ้านชนบทห่างไกล 863
47.4.2 โครงการจ่ายไฟฟ้าให้พื้นที่ห่างไกลด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานอื่น ๆ 865

47.4.3 โครงการจ่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในอนาคต 866
47.5 องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย 867
47.6 ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 868
47.6.1 การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ 869
47.6.2 การออกแบบระบบและการประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ 869
47.6.2.1 การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 869
47.6.2.2 การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งติดตามดวงอาทิตย์ได้ 870
47.6.2.3 การถ่ายทอดเทคโลยีการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์สู่หมู่บ้านชนบท ที่จังหวัดเชียงใหม่ 871
47.6.2.4 ชุดเติมออกซิเจนในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 872
47.6.2.5 ชุดเป่าลมลงบ่ออนุบาลเลี้ยงปลาด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 873
47.6.2.6 การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในสวนยางพาราภาคใต้ 874
47.6.2.7 ชุดเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับโทรศัพท์มือถือ 877
47.6.2.8 ประตูรั้วเปิดและปิดได้ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 878
47.7 คณะพลังงานและวัสดุ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 879
47.7.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ 880
47.7.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินสมรรถนะทางเทคนิค เศรษฐกิจ และสังคมของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 880
47.7.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ประกอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องมือวัด 880
47.7.4 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบสะสมพลังงาน 881
47.7.5 การวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบสมรรถนะของอุปกรณ์ 881
47.8 ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 883
47.8.1 โครงการสวนพลังงานในมหาวิทยาลัยนเรศวร 883
47.9 โครงการจัดตั้งโรงงานต้นแบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 885
47.10 กองอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ 887
47.11 คณะกรรมาธิการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร 887

47.12 อุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย 889
47.12.1 บริษัทโซลาร์ตรอน จำกัด 889
47.12.2 บริษัทสยามโซลาร์ แอนด์ อีเลคทรอนิคส์ จำกัด 893
47.12.3 บริษัทบีพีไทยโซลาร์ จำกัด 895
47.12.4 บริษัทอื่น ๆ 896
สรุป 899
เฉลยคำถามท้ายบท 901
ภาคผนวก 905
ดัชนี 913

สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์
- ฟิสิกส์ เทคโนโลยี และการใช้งาน - เล่ม 2

ดุสิต เครืองาม

BSTI DEPT. OF SCIENCE SERVICE
สำนักหอสมุดฯ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
1110003513

621.381
เลขหมู่ ๑๔๘
๒๕๔๒/ส๒
เลขทะเบียน 10569
วันที่ 12 มิ.ย. 45
0029-10060

สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2542

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค)
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
สนับสนุนค่าจัดพิมพ์บางส่วน

460.-

กองสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี