หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การประดิษฐ์และการทดสอบเซลแสงอาทิตย์

ในการประดิษฐ์เซลแสงอาทิตย์นี้ใช้แว่นผลึกซิลิกอนเป็นสารกึ่งตัวนำตั้งต้น โดยผ่านขั้นตอนของกระบวนการประดิษฐ์ต่างๆ แล้วฉาบดีบุกออกไซด์ ซึ่งจะได้ศึกษาเซลแสงอาทิตย์แบบหัวต่อ พี-เอ็น ของซิลิกอนโดยมีดีบุกออกไซด์ฉาบด้านบนเป็นชั้นกันการสะท้อนของแสง และเป็นเซลแสงอาทิตย์แบบ Heteroface ด้วย[80),(81)] เซลแสงอาทิตย์แบบ MIS ของดีบุกออกไซด์-ซิลิกอน ไดออกไซด์-ซิลิกอน[82)] และเซลแสงอาทิตย์แบบ Schottky[82)-(90)]

4.1 การประดิษฐ์เซลแสงอาทิตย์ SnO_2 / n^+- pSi

เริ่มจากแว่นผลึกซิลิกอนแบบพี ซึ่งมีความต้านทานจำเพาะ 1-3 Ω-cm. ผ่านกระบวนการทำความสะอาดขั้นสุดท้าย ดังรายละเอียดในภาคผนวก ฉ. จากนั้นจะแบ่งแว่นผลึกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเอาไปทำออกไซด์ที่อุณหภูมิ 1050°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นกัดออกไซด์ด้านหน้าออกหมด แล้วนำไปเข้าเตาเติมสารเจือแบบเอ็นที่อุณหภูมิ 950°C โดยใช้ $POCl_3$ เป็นตัวให้สารเจือเป็นเวลา 15 นาที ส่วนแว่นผลึกซิลิกอนที่เหลือนำไปเข้าเตาเติมสารเจือแบบเอ็นที่อุณหภูมิ 900°C โดยใช้ H_3PO_4 เป็นตัวให้สารเจือเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเอาแว่นผลึกไปขัดผิวด้านหลังให้บริเวณที่เติมสารเจือแบบเอ็นนี้ออกจนหมด จากนั้นนำแว่นผลึกที่เติมสารเจือทั้ง 2 วิธีไปกัดออกไซด์ด้านหน้าออกจนหมด แล้วนำไปฉาบดีบุกออกไซด์หนาประมาณ 800 Å ซึ่งมีสีน้ำเงินอันดับแรกที่อุณหภูมิ 400-450°C จากนั้นนำไปทำขั้วโดยผ่านวิธี photolithographic technique ฉาบสารไวแสงเพื่อทำแบบของขั้วด้านหน้า จากนั้นนำไปเข้าเครื่องระเหยไอโลหะอลูมิเนียม 99.999 % ด้านหลังและอินเดียมด้านหน้าแล้วนำไปสั่นด้วยเครื่องอุลตราโซนิคใน Acetone อินเดียมด้านหน้าจะหลุดตามแบบที่ทำ photolithography ไว้ ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า lift-off technique หรืออาจจะทำขั้วโดยการชุบนิเกิลด้วยไฟฟ้าโดยระเหยไอของอลูมิเนียมด้านหลังแล้วนำมาชุบนิเกิลด้วยไฟฟ้า ก็จะได้ขั้วโลหะนิเกิลติดทั้งด้านหน้าและด้านหลัง จากนั้นนำไปทำความสะอาดด้วย Trichloroethylene Acetone และน้ำ DI แล้วปัดกรีด้วยลวดทองแดง ก็จะได้เซลแสงอาทิตย์ตามต้องการ

4.2 การประดิษฐ์เซลแสงอาทิตย์แบบ Schottky และ MIS

ใช้แว่นผลึกซิลิกอนเอ็นหรือเอ็นบนเอ็นบวก (n on n^+) ก็ได้ ในการทดลองนี้ใช้แว่นผลึก

ชนิดเอ็นมีความต้านทานจำเพาะ 1.45 Ω-cm. หนา 280 μm. และแว่นผลึกชนิดเอ็นบนเอ็นบวกหนา 200 μm. ชั้นเอ็นหนา 2-5 μm. มีความต้านทานจำเพาะ 0.2-0.3 Ω-cm. ชั้นเอ็นบวกมีความต้านทานจำเพาะ 2.8, 3.1, 4.2 mΩ-cm. ผ่านขั้นตอนทำความสะอาดขั้นสุดท้าย แล้วนำไปฉาบดีบุกออกไซด์หนาประมาณ 80 nm. ที่อุณหภูมิ 400°C - 450°C ก็จะได้เซลแสงอาทิตย์แบบ Schottky ส่วนเซลแบบ MIS ใช้แว่นผลึกเอ็นบนเอ็นบวกเช่นเดียวกับแบบ Schottky เอาแว่นผลึกวางในครอบแก้วแผ่นความร้อนอุณหภูมิ 400°C ในบรรยากาศของออกซิเจนเป็นเวลา 3-12 นาที เพื่อให้เกิดชั้นออกไซด์บางๆ ของซิลิกอนแล้วฉาบดีบุกออกไซด์หนาประมาณ 80 nm ทับลงไป ก็จะได้เซลแสงอาทิตย์แบบ MIS ความหนาของออกไซด์ของซิลิกอนนั้นจะต้องไม่เกิน 1.5 nm ส่วนการทำขั้วนั้นใช้วิธีเดียวกันกับการทำขั้วในหัวข้อ 4.1

4.3 <u>ผลของการทดลองและการทดสอบเซลแสงอาทิตย์</u>

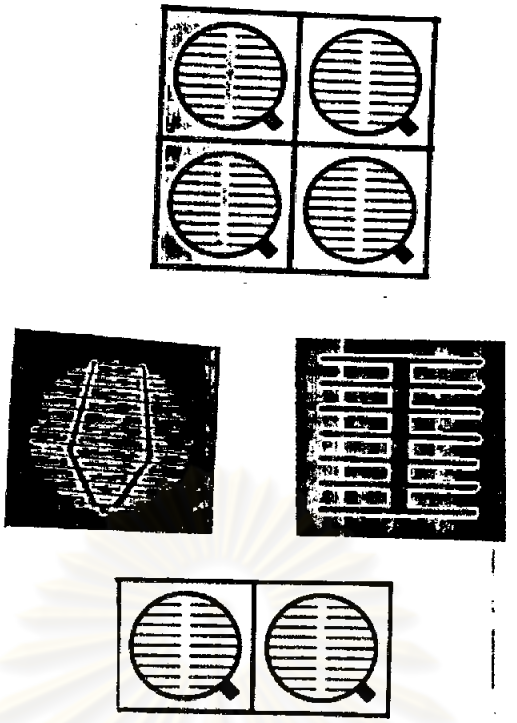
การประดิษฐ์เซลแสงอาทิตย์แบบหัวต่อพี-เอ็น ซึ่งมีชั้นเอ็นบวกอยู่บนชั้นพี

1) ใช้แว่นผลึกซิลิกอนชนิดพีความต้านทานจำเพาะ 1.152, 1.560 และ 1.545 Ω-cm. มีความหนา 288, 285 และ 287 μm. ตามลำดับ

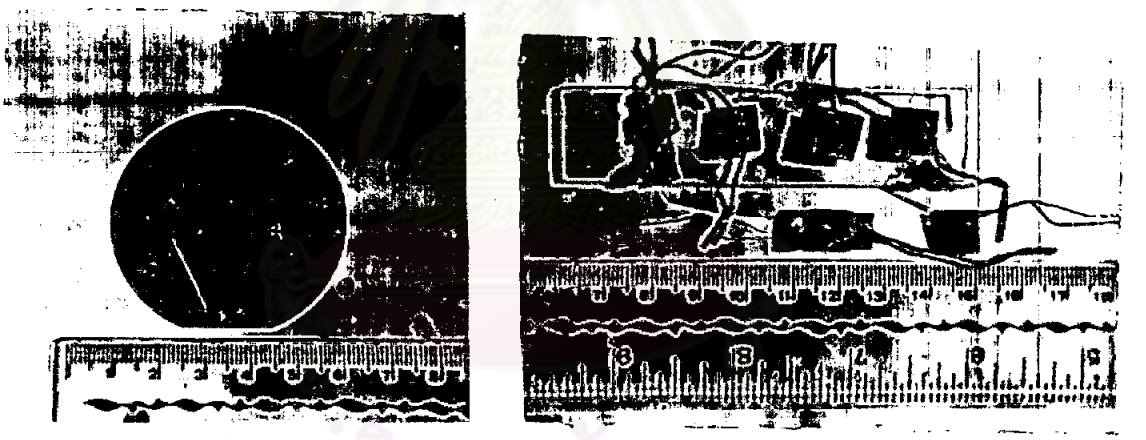
2) เมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัสจากกรดฟอสฟอริค (H_3PO_4) โดยจุ่มแว่นผลึกซิลิกอนชนิดพีลงไปในกรดฟอสฟอริคที่อุณหภูมิ 60-70°C แล้วนำไปเข้าเตาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 15 นาที นำแว่นผลึกมาวัดความต้านทานแผ่นจำเพาะด้านหน้าได้ 13.26, 7.49 และ 8.98 Ω/□ ตามลำดับ

3) การเติมสารเจือฟอสฟอรัสจากฟอสฟอริลคลอไรด์ ($POCl_3$) โดยให้ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ผ่านฟอสฟอริลคลอไรด์ และก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ผ่านเข้าสู่เตาร่วมกันใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิของเตา 950°C ได้ชั้นเอ็นบวกบนส่วนของแว่นผลึกเริ่มต้นทั้งสาม ซึ่งวัดความต้านทานแผ่นจำเพาะได้ 7.95, 7.80 และ 7.75 Ω/□ ตามลำดับ

4) ดีบุกออกไซด์ที่ฉาบบนชั้นเอ็นบวกที่อุณหภูมิ 450°C หนา 80 nm. มีความต้านทานแผ่นจำเพาะเป็น 0.55, 0.59, 0.62 kΩ/□ สำหรับข้อ 2 และ 0.59, 0.62, 0.65 kΩ/□ สำหรับข้อ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 รูปของแบบ (mask) ของขั้วด้านหน้าของเซลแสงอาทิตย์



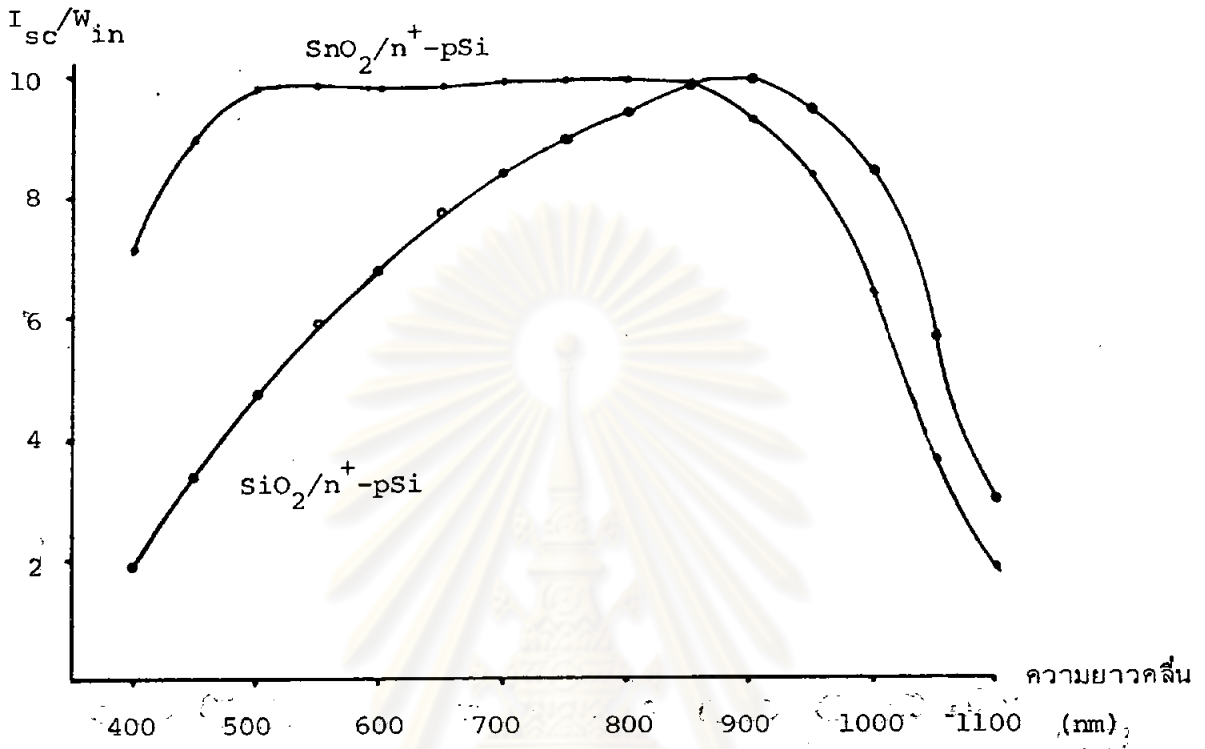
รูปที่ 4.2 เป็นภาพถ่ายของเซลแสงอาทิตย์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น

เอาเซลแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ประดิษฐ์ขึ้นมาวัดค่าแรงดันวงจรเปิด กระแสลัดวงจร ฟิลล์-แฟคเตอร์ และประสิทธิภาพโดยรับแสงจากหลอดทังสเตนตรงจุดที่มีความเข้มของแสง 100 mW/cm^2 ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าของแรงดันวงจรเปิด กระแสลัดวงจร ฟิลล์แฟคเตอร์ และประสิทธิภาพของเซลแสงอาทิตย์

แบบของเซลแสงอาทิตย์	V_{oc} (volt)	J_{sc} (mA/cm^2)	F.F.	η (%)
SnO_2/n^+ - pSi : H_3PO_4 I	0.58	35.0	0.60	12.18
SnO_2/n^+ - pSi : H_3PO_4 II	0.56	33.2	0.60	11.16
SnO_2/n^+ - pSi : H_3PO_4 III	0.55	32.5	0.55	9.83
SnO_2/n^+ - pSi : $POCl_3$ I	0.56	30.3	0.58	9.84
SnO_2/n^+ - pSi : $POCl_3$ II	0.54	28.2	0.55	8.38
SnO_2/n^+ - pSi : $POCl_3$ III	0.54	29.4	0.56	8.89
SnO_2/n-Si I	0.42	15.2	0.45	2.87
SnO_2/n-Si II	0.41	16.5	0.46	3.11
SnO_2/n on n^+ Si I	0.47	20.0	0.45	4.23
SnO_2/n on n^+ Si II	0.46	19.5	0.43	3.86
SnO_2/3min.SiO_x/n on n^+ Si I	0.24	10.2	0.47	1.15
SnO_2/3min.SiO_x/n on n^+ Si II	0.25	8.1	0.45	0.91
SnO_2/5min.SiO_x/n on n^+ Si I	0.30	8.0	0.45	1.08
SnO_2/5min.SiO_x/n on n^+ Si II	0.25	9.5	0.45	1.07
SnO_2/10min.SiO_x/n on n^+ Si I	0.21	5.0	0.42	0.44
SnO_2/10min.SiO_x/n on n^+ Si II	0.20	4.3	0.42	0.36
SnO_2/12min.SiO_x/n on n^+ Si I	0.20	3.5	0.40	0.28
SnO_2/12min.SiO_x/n on n^+ Si II	0.21	4.5	0.41	0.39
SiO_2/n^+-pSi : $POCl_3$ I	0.52	27.5	0.56	8.01
SiO_2/n^+-pSi : $POCl_3$ II	0.52	26.3	0.58	7.93
SiO_2/n^+-pSi : H_3PO_4 I	0.53	29.6	0.60	9.41
SiO_2/n^+-pSi : H_3PO_4 II	0.52	27.2	0.54	7.64

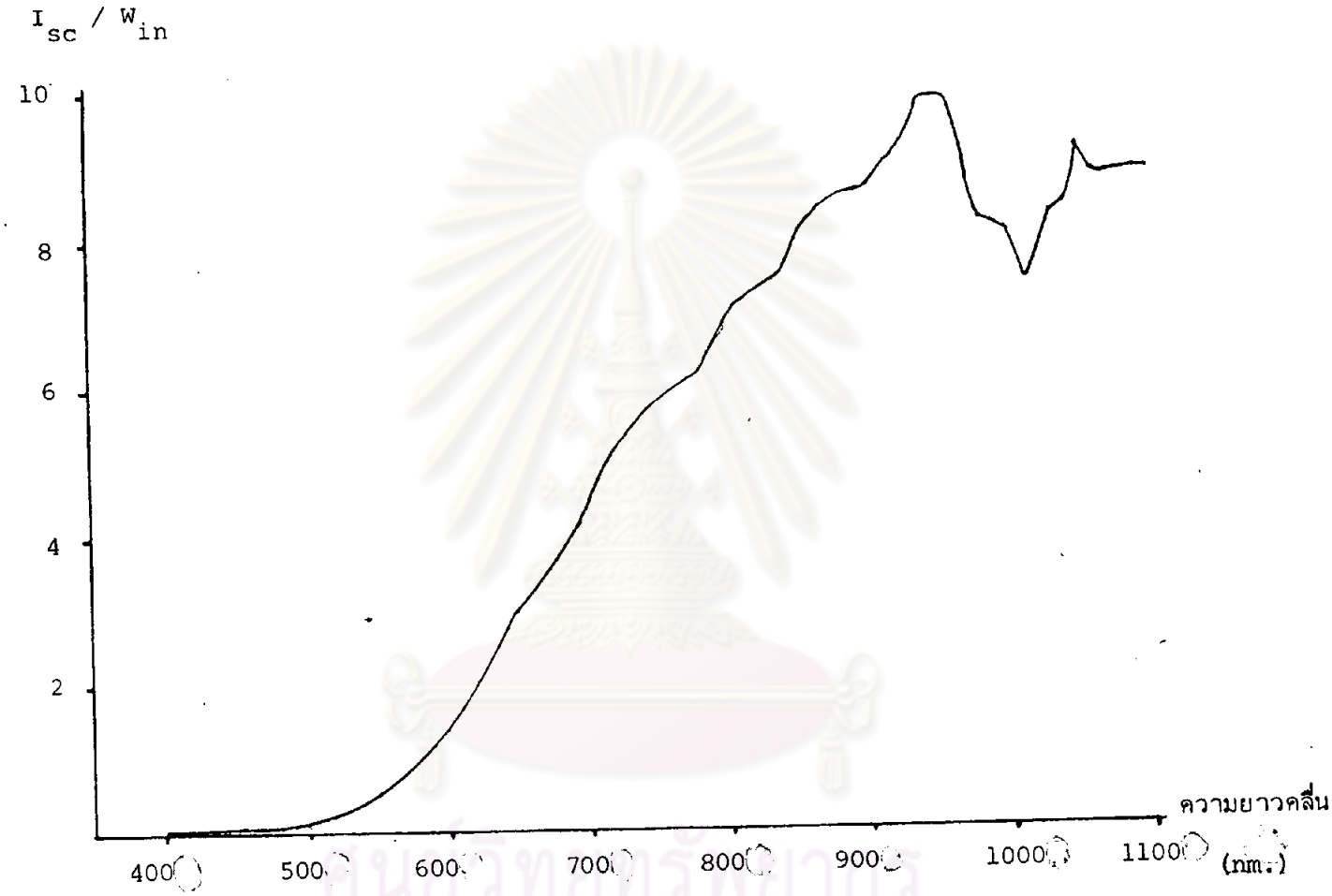
นำเซลฯ แบบ SnO_2/n^+ - pSi กับ SiO_2/n^+ - pSi ไปวัดการตอบสนองต่อแสง ซึ่งจะได้ผลดังรูปที่ 4.3 และตังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.3 เป็นการตอบสนองต่อแสงของเซลฯ SnO_2/n^+ - pSi และ SiO_2/n^+ - pSi ที่ความยาวคลื่น 400 - 1100 nm. เป็นของ SnO_2/n^+ - pSi เป็นของ SiO_2/n^+ - pSi

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันวงจรเปิดกระแสลัดวงจร และฟิลล์แฟคเตอร์ของเซลแสงอาทิตย์แบบเอ็นบนพี ซึ่งมีดีบุกออกไซด์ และซิลิกอนไดออกไซด์เป็นชั้นกันการสะท้อนของแสงเมื่อรับแสงเหนือม่วง (ultra violet) จากหลอด Osram 200 วัตต์ ซึ่งบรรจุไอปรอทที่มีความดันสูงมาก

ลำดับเซลแสงอาทิตย์	V_{oc} (volt)	J_{sc} (mA/cm^2)	F.F.
SnO_2/n^+ - pSi : H_3PO_4 I	0.34	2.03	0.5
SnO_2/n^+ - pSi : H_3PO_4 II	0.32	2.00	0.5
SnO_2/n^+ - pSi : $POCl_3$ I	0.30	2.10	0.42
SiO_2/n^+ - pSi I	0.008	0.09	0.25
SiO_2/n^+ - pSi II	0.007	0.10	0.25
SiO_2/n^+ - pSi III	0.007	0.13	0.25



รูปที่ 4.4 เป็นสเปคตรัมของแสงจากหลอดทังสเตนที่ใช้ทดสอบการตอบสนองต่อแสงของ เซลแสงอาทิตย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย