รายการอ้างอิง

1. ดุสิต เครืองาม. สถานภาพเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน. วารสารวิศวกรรมสาร ปีที่ 42 เล่มที่ 2 (มีนาคม-เมษายน 2532): 65-75.
2. Antony Catalano. Solar Cells Made of Amourphous and Microcrystalline Semiconductor. In Jerzy Kanicki (ed.), Amourphous and Microcrystalline Semiconductor Devices: Optoelectronic Devices, pp. 9-13. M.A.: Artech House,1991.
3. ดุสิต เครืองาม. รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัย เรื่อง การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ราคาถูกแบบฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
4. W.E. Spear and P.G. Le Comber. Solid State Commun. vol. 17 (1975): 1193.
5. ดุสิต เครืองาม, ภาวัน สยามชัย และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของสารกึ่งตัวนำชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน . ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, หน้า 110-111. กรุงเทพมหานคร, 25-27 ตุลาคม 2533.
6. D. Kruangam, P. Siamchai, and S. Panyakeow. A Study of Hydrogenated Amorphous Silicon for Optoelectronic Devices. In 2nd Regional Symposium on Optoelectronics, Jakarta, Indonesia, Nov. 27-28,89.
7. ภาวัน สยามชัย และ กิตติ ยิ่งยงใจสุข . การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของอะมอร์ฟัสซิลิคอนและการประยุกต์ใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์. โครงงานปริญญาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
8. J.D. Poanopoulos and G. Lucovsky. The Physics of Hydrogenated Amourphous Silicon II. Springler-Verlag, 1984. pp. 195.

9. ดุสิต เครืองาม, ภาวัน สยามชัย และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. การวัดจำนวนของ Dangling Bond ในอะมอร์ฟัสซิลิกอนด้วยวิธี ESR, ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17, หน้า 238-239, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 24-26 ตุลาคม 2534.

10. K. Takahashi and M.Konagai, Tokyo Institute of Technology. Amorphous Silicon Solar cells. London : North Oxford Academic, 1986. pp. 97-206.

11. ดุสิต เครืองาม, ภาวัน สยามชัย และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน. ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, หน้า 112-113. กรุงเทพมหานคร, 25-27 ตุลาคม 2533.

12. Y. Tawada and Y. Hamakawa. A-SiC:H as a Window Material for High Efficiency Solar Cell. In Solar Energy Mat. 6 (1982), pp. 299-315.

13. ดุสิต เครืองาม. การเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนโดยใช้ไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอนคาร์ไบด์เป็นหน้าต่างเฮตเตโร. ใน การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 11, หน้า 5-12-1 ถึง 5-12-12. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 8-9 พฤศจิกายน 2533.

14. ดุสิต เครืองาม, ภาวัน สยามชัย และสมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่ที่ทำจากฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน . ใน การประชุมใหญ่ทางวิชาการทางวิศวกรรมประจำปี 2533, หน้า 475-487. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพมหานคร, 1-4 พฤศจิกายน 2533.

15. ภาวัน สยามชัย, ดุสิต เครืองาม และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนและการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยใช้อะมอร์ฟัสซิลิคอนคาร์ไบด์เป็นหน้าต่างกว้างรับแสง. ใน การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13, หน้า 270-279. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 8-9 พฤศจิกายน 2533.

16. Y. Hamakawa and Y. Tawada. Valency control of Glow Discharge Produced a-SiC:H and Its Application to Heterojunction Solar Cells. Int. J. Solar Energy vol.1 (1982): 125-144.

17. Yoshihisa Tawada. Valency Control of Amorphous Silicon Carbide and Its Application to Heterojunction Solar Cell. Ph.D. dissertation, Osaka University, 1982.

18. S. Nonomura, H. Okamoto and Y. Hamakawa. Determination of the Built-in Potential in a-Si Solar Cells by Means of Electroabsorption Method. Japanese Journal of Applied Physics vol. 21, No.8 (1982): L464 - L466.

19. ภาวัน สยามชัย, ดุสิต เครืองาม และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. การประยุกต์ใช้ a-Si:H เป็นเซนเซอร์ตรวจวัดสีของแสง. ใน เอกสารการประชุมวิชาการ ทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 14, หน้า 2-27 ถึง 2-33. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 7-8 พฤศจิกายน 2534.

20. ภาวัน สยามชัย, ดุสิต เครืองาม และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. การประดิษฐ์เซนเซอร์ตรวจวัดสีของแสงชนิดฟิล์มบางจากวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิกอน. ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17, หน้า 240-241, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 24-26 ตุลาคม 2534.

21. ภาวัน สยามชัย, บัณฑิต อุดมพรวิรัตน์, ดุสิต เครืองาม และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. การประดิษฐ์เซนเซอร์ตรวจวัดสีของแสง. ใน เอกสารการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ประจำปี 2534, หน้า 206-216. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์แห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร, 23-26 พฤษภาคม 2534.

22. Transistor Technology Group. Transistor Technology :Special Issue on Sensor Interfacing Vol. 4. Japan: CQ Publishing, 1986. (in Japanese).

รายชื่อผลงานตีพิมพ์และประชุมทางวิชาการ

1. ดุสิต เครืองาม, ภาวัน สยามชัย และสมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่ที่ทำจากฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน . ใน การประชุมใหญ่ทางวิชาการทางวิศวกรรมประจำปี 2533, หน้า 475-487. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพมหานคร, 1-4 พฤศจิกายน 2533.
2. D. Kruangam, P. Siamchai, and S. Panyakeow. A Study of Hydrogenated Amorphous Silicon for Optoelectronic Devices. In 2nd Regional Symposium on Optoelectronics, Jakarta, Indonesia, Nov. 27-28,89.
3. ดุสิต เครืองาม, ภาวัน สยามชัย และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน. ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, หน้า 112-113. กรุงเทพมหานคร, 25-27 ต.ค. 2533.
4. ดุสิต เครืองาม, ภาวัน สยามชัย และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของสารกึ่งตัวนำชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน . ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, หน้า 110-111. กรุงเทพมหานคร, 25-27 ต.ค. 2533.
5. ภาวัน สยามชัย, ดุสิต เครืองาม และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนและการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยใช้อะมอร์ฟัสซิลิคอนคาร์ไบด์เป็นหน้าต่างกว้างรับแสง. ใน การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13, หน้า 270-279. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 8-9 พ.ย. 2533.
6. ดุสิต เครืองาม, ภาวัน สยามชัย และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. การวัดจำนวนของ Dangling Bond ในอะมอร์ฟัสซิลิคอนด้วยวิธี ESR, ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17, หน้า 238-239, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 24-26 ตุลาคม 2534.

7. ภาวัน สยามชัย, ดุสิต เครืองาม และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. การประยุกต์ใช้ a-Si:H เป็นเซนเซอร์ตรวจวัดสีของแสง. ใน เอกสารการประชุมวิชาการ ทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 14, หน้า 2-27 ถึง 2-33. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 7-8 พฤศจิกายน 2534.

8. ภาวัน สยามชัย, บัณฑิต อุดมพรวิรัตน์, ดุสิต เครืองาม และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. การประดิษฐ์เซนเซอร์ตรวจวัดสีของแสง. ใน เอกสารการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ประจำปี 2534, หน้า 206-216. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์แห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร, 23-26 พฤษภาคม 2534.

9. ภาวัน สยามชัย, ดุสิต เครืองาม และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. การประดิษฐ์เซนเซอร์ตรวจวัดสีของแสงชนิดฟิล์มบางจากวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอน. ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17, หน้า 240-241, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 24-26 ตุลาคม 2534.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การ Operate ระบบ Glow Discharge Plasma CVD

ตอนที่ 1 เตรียมการเพื่อเปิด chamber

1. เช็ควาล์วทุกตัวว่าอยู่ในสภาพปิดหมด
2. เปิดสวิทช์ RP. 200 V, PIRANI 100V, HEATER 220 V
3. ดูด N_2 ออกจากระบบท่อสเตนเลส โดย
   - 3.1 เปิด V14 (VENT VALVE), V12
   - 3.2 หมุน V15 ลงสู่ VENT
   - 3.3 เปิด V3 (หรือ V4, V5,V6)* และ V8 (หรือ V9, V10, V11)
   - 3.4 ปรับ ND 8 (หรือ ND9, ND10, ND11) ให้ Flow meter ขึ้น ~ 130 scale
   - 3.5 เปิด regulator valve (หมุนตามเข็มนาฬิกาจนสุด)
   - 3.6 รอจนก๊าซออกจากท่อจนหมด (ลูกแก้วใน flow meter ตกหมด) หรือประมาณ 30 นาที (ถึงไม่หมดก็หยุด)
   - 3.7 ปิด V 14, V12, V15, V8 (V9, V10,V11) V3, (V4,V5,V6) แล้วปิด regulator (คลายออก)
4. ทำการ leak chamber โดย
   - 4.1 เปิดวาล์วถังก๊าซ N_2 แล้วค่อย ๆ เปิด regulator(หมุนตามเข็ม) จนกระทั่งได้ 2^{nd} pressure = 1.5 kg/cm^2
   - 4.2 ค่อย ๆ เปิด V1,V2,V7 ปรับ ND 7 ให้ N_2 ไหล < 0.5 l/min (เข็ม vacuum gauge จะขึ้นอย่างช้า ๆ)
   - 4.3 รอจน Chamber มีความดันเท่ากับภายนอก (เข็ม Vacuum gauge ชี้ไปที่เลข = 0)
   - 4.4 ปิด V1, V2, V7

* แล้วแต่ว่าจะใช้ก๊าซอะไรบ้างในการปลูกฟิลม์

ตอนที่ 2 การเปิด chamber และ set substrate

1. เปิด chamber เอาออกมาทำความสะอาดภายในด้วยกระดาษทิชชูที่ชุบ methanol จนชุ่ม และทา grease ที่ขอบฐาน chamber
2. วาง substrate ตามที่ต้องการลงบนแท่น susceptor
3. ปิด chamberเข้าที่เดิม และหันไปในทิศทางเดิมด้วย

ตอนที่ 3 กระบวนการ heat up

1. ทำ vacuum โดย เปิด V1,V2 แล้วเปิด main valve อย่างช้า ๆ จนเข็ม vacuum gauge ชี้ไปที่ -760
2. เปิดสวิทช์ pirani guage อ่านค่าความดันว่าลดลง(เป็น vacuum) ดีหรือไม่
3. เมื่อความดัน (0.1 torr เปิด CURRENT HEATER ตั้งกระแสตามเงื่อนไขที่ต้องการ (Amp.) แล้วเริ่มจับเวลา
4. เปิดระบบ rf power ซึ่งประกอบด้วย MAIN SWITCH, ปุ่มสีแดง และสวิทช์อันกลาง เป็นการอุ่นเครื่อง
5. ดูด N_2 ที่ค้างในท่อต่อ โดย ปิด V2 แล้วเปิด V15, V3 (หรือ V4,V5,V6), V8 (หรือ V9,V10,V11)
6. รอจนกระทั่ง 40 นาที ตรวจดู pressure ว่าควร < 0.02 torr(ถ้าไม่ถึงแสดงว่ามีการรั่ว ให้ตรวจสอบ)
7. ปิด V15, แล้วปิด V3 (V4,V5,V6) และ V8 (V9,V10,V11)

ตอนที่ 4 การใส่ N_2 เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ

1. เปิดถังก๊าซ reaction ที่ต้องการแล้วปิดทันที จากนั้นปรับ Regulatior เพื่อ set 2^{nd} pressure = 10 psi
2. ปล่อย N_2 โดยเปิด V2, V7 ปรับ ND7 ให้ flowmeter อ่านได้ < 0.5 l/min (~0.3 l/min)
3. ปรับ main valve ให้ pressure ~ 1.0 torr ปล่อยไว้ 20 นาที
4. ปิด N_2 โดยปิด V2, V7, และเปิด main valve

5. เริ่มหมุนแท่น susceptorโดย ลด Variac เป็น 0 ปิด heater เปิด switch Rotation หมุนแกน motor ด้วยมือเป็นการเริ่มหมุน แล้วเปิด heater ต่อตามเดิม

ตอนที่ 5 กระบวนการ deposition

1. เริ่ม deposition โดยใส่ก๊าซ reaction ดังนี้
   1.1 เปิด V15 ขึ้นไปทาง chamber
   1.2 เปิด V3 (หรือ V4,V5,V6) และ V8 (หรือ V9,V10,V11)
   1.3 ปรับ ND8 (หรือ ND9,ND10,ND11) ให้ได้อัตราการไหลของก๊าซตามต้องการ
   1.4 ปรับ main valve เพื่อให้ได้ pressure ตามที่กำหนด
2. ทำ discharge โดย
   2.1 เปิด สวิทช์ H.V.
   2.2 หมุน volume ของ power อย่างช้า ๆ เพื่อให้ก๊าซ discharge (ระวังอย่าให้ power ขึ้นสูงมากเกินไป)
   2.3 ปรับ L,C และ volume เพื่อให้ได้ power และ S.W.R. ตามต้องการ เริ่มจับเวลาการปลูกฟิลม์
3. ตรวจเช็ค current (Ts), Pressure, rf power, flow meter, regulator ให้เป็นไปตามเงื่อนไข

ตอนที่ 6 การหยุดกระบวนการ GD.

1. เมื่อถึงเวลาที่กำหนด หยุด discharge โดยการ
   1.1 ปิด volume ของ Power
   1.2 ปิด สวิทช์ H.V., สวิทช์อันกลาง, ปุ่มสีดำ และ RF main
   1.3 ลด Variac เป็น 0, ปิดสวิทช์ Heater และ สวิทช์ rotation
   1.4 ปิดถังก๊าซ reaction (ในกรณีที่ไม่ได้ปิดแต่แรก) ทุกถัง
2. ดูดก๊าซ reaction ที่ค้างอยู่ในท่อให้หมด โดยดูจาก flow meter ว่าลูกแก้วตกหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ปิดวาลว์ V15, V3 (V4,V5.V6), V8 (V9,V10,V11)
4. ปล่อย N_2 ไหลผ่าน Chamber โดยเปิด V2,V7 ให้ N_2 ไหล = 0.5 l/min 10 นาที เพื่อไล่ก๊าซที่เหลืออยู่ในท่อออกภายนอก
5. ปิด V_2, V7
6. ทำการปล่อย N_2 เข้าท่อเสตนเลสส โดยการเปิด N1,(N2,N3,N4) และตั้ง regulator ทุกตัวให้ได้ 2^{nd} pressure = 15 psi
7. เปิด V3, (V4,V5,V6) V8,(V9,V10,V11) ให้ N_2 ไหลพอควร
8. ปิด V12,V3,(V4,V5,V6) รอจนลูกแก้วที่ flow meter ตกแล้วปิด V8,(V9,V10,V11)
9. ปิด N1,N2,N3, ให้แน่น
10. ทิ้งไว้ให้ sample เย็น (หลังจากหยุด discharge ไปเป็นเวลา ~ 60 นาที) ปิด V1, main valve
11. ทำการ leak pump โดยการปล่อย N_2 ลงมาทาง Vent ด้วยการเปิด V14, V13 และ เปิด V7 ให้ N_2 ไหลเต็มที่
12. ปิด switch ทุกอัน ปล่อยให้ N_2 ไหลสักครู่ แล้วจึงปิด V14,V13,V7 วาลว์ที่ถังก๊าซและ regulator

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

กระบวนการการกัด pattern ITO

1. ทำความสะอาด substrate โดยใช้
   - Trichloroethylene Ultrasound 20 นาที
   - Acetone Ultrasound 20 นาที
   - Methylalcohol Ultrasound 20 นาที
2. ทา photoresist แบบ positive No.AZ 1350 คลิงให้ทั่วด้วยก้านสำลีทำความสะอาด
3. ทำ spinning
   - first 200 rpm 4 วินาที
   - second 700 rpm 12 วินาที
4. อบ pre-bake 90 c เป็นเวลา 10 นาที
5. ฉายแสง UV. 1 นาที
6. ทำการ Develope
7. ล้างแผ่น ITO ด้วยน้ำ DI ให้สะอาด
8. กัด ITO ออกด้วย $FeCl_3$:HCL 1:1 20-30 min
9. ล้างออกด้วยน้ำ DI
10. ล้าง photoresist ทั้งหมดออกโดยใช้ Acetone ใช้แล้วเท Acetone ทิ้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายภาวัน สยามชัย เกิดเมื่อวันที่ 13 กรกฎาคม 2512 ณ.จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาไฟฟ้า จาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ. 2532 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2533

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย