

การปลูกฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน  
และศึกษาการดูดกลืนแสงด้วยวิธีซีพีเอ็ม

นาย เกรียงไกร จิรวิฑูถ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-777-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**DEPOSITION OF AMORPHOUS SILICON  
AND THE STUDY OF ITS OPTICAL ABSORPTION BY CPM**

Mr. Kriangkrai Chirakawikul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974-638-777-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การปลูกฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนและ      ศึกษาการดูดกลืนแสงด้วยวิธี  
ซีพีเอ็ม  
โดย                              นาย เกรียงไกร จิรวิกุล  
ภาควิชา                              วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร. คุณิต เครื่องงาม

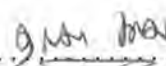
---

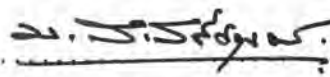
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

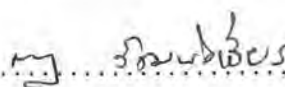
 ..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

 ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. คุณิต เครื่องงาม)

 ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร)

 ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. กรกฎ วัฒนวิเชียร)

 ..... กรรมการ  
(ดร. พอพนธ์ สีขมณุกฤษณ์)

เกรียงไกร จิรกวีกุล: การปลูกฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนและ ศึกษาการดูดกลืนแสงด้วยวิธีซีพีเอ็ม  
(DEPOSITION OF AMORPHOUS SILICON AND THE STUDY OF ITS OPTICAL  
ABSORPTION BY CPM) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ดุสิต เครื่องงาม, 72 หน้า.  
ISBN 974-638-777-4

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเทคโนโลยีการปลูกฟิล์มบางของวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอน (hydrogenated amorphous silicon : a-Si:H) ด้วยวิธีการแยกสลายก๊าซด้วยประจุเรืองแสง (glow discharge plasma CVD) โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของแผ่นฐานที่มีต่อคุณสมบัติทางแสงและอิเล็กทรอนิกส์ของ a-Si:H

ได้มีการวัดสเปกตรัมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงซึ่งเกิดจากการดูดกลืนแสงโดย โทคอลไลซด์สเตตใน a-Si:H ชนิดบริสุทธิ์ด้วยวิธีซีพีเอ็ม (Constant Photocurrent Method : CPM) ในช่วงพลังงานโฟตอนที่น้อยกว่าช่องว่างพลังงาน ได้ออกแบบระบบการวัดซีพีเอ็ม เขียนโปรแกรม ซอฟต์แวร์ และดำเนินการวัดสเปกตรัมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่วัดได้นั้นให้ข้อมูลเกี่ยวกับ ลักษณะของความหนาแน่นของโทคอลไลซด์สเตตและความหนาแน่นของแขนขา (dangling bonds) ความหนาแน่นของสเตตที่วัดได้ด้วยวิธีซีพีเอ็มนี้สอดคล้องกับผลการวัดด้วยวิธี ESR (Electron Spin Resonance)

จากผลการปลูกฟิล์ม a-Si:H ชนิดบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิแผ่นฐานต่าง ๆ พบว่าอุณหภูมิแผ่นฐานที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ความหนาแน่นของแขนขาน้อยที่สุดและสภาพนำไฟฟ้าด้วยแสงมีค่ามากที่สุดคือประมาณ 200°C ข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด อะมอร์ฟัสซิลิคอนซึ่งมีรอยต่อโฮโมชนิด p-i-n ได้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 6.7 %

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา ..... 2540

ลายมือชื่อนิติต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม .....

# # 3970135221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: AMORPHOUS SILICON ALLOY / CONSTANT PHOTOCURRENT METHOD / SOLAR CELLS / LOCALIZED STATES. Kriangkrai Chirakawikul: DEPOSITION OF AMORPHOUS SILICON AND THE STUDY OF ITS OPTICAL ABSORPTION BY CPM. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. DUSIT KRUANGAM, Dr. Eng. 72 pp. ISBN 974-638-777-4

A study has been done on the deposition of hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) thin film by the glow discharge plasma CVD technique. The dependences of the optical and electronic properties of undoped a-Si:H on the substrate temperature have been investigated.

The optical absorption coefficient induced by the localized states of undoped a-Si:H has been measured by the CPM (Constant Photocurrent Method). The research started from the design of the measurement system as well as writing the software programme. The optical absorption induced by the localized states lies in the low photon energy regions and its coefficient gives the information of the shape of the tail states and the density of states. The density of localized states obtained from the CPM is consistent with the results obtained from ESR (Electron Spin Resonance) measurement.

Optimization of the substrate temperature for the undoped a-Si:H has been done by using the CPM technique, and the result shows that the optimal substrate temperature is around 200°C. With the optimal film preparation conditions, the p-i-n homojunction a-Si:H solar cells have been fabricated. The highest conversion efficiency obtained is approximately 6.7 %.

ภาควิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิสิต..... *ก. วิชา*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *ก. วิชา*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ จากห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) ที่ได้ให้ทุนวิจัยทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความร่วมมือในการวัด ESR

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งได้แก่ ศ. ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว รศ. ดร.มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร รศ. ดร.กรกฎ วัฒนวิเชียร ดร.พอพนธ์ ลิขณุกฤษณ์ และ รศ. ดร.คุสิต เครื่องงาม ที่ให้คำแนะนำและความคิดเห็นที่มีค่ายิ่ง

ผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.คุสิต เครื่องงาม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์นี้ ที่ให้คำแนะนำที่มีค่าตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำซึ่งได้แก่ ศ. ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว รศ. ดร.มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร รศ. ดร.บรรยง โตประเสริฐพงศ์ รศ. ดร.ชุมพล อันตรเสน ผศ. ดร.ธรา ชลปราณี รศ. ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ ดร.สมชาย รัตนธรรมพันธ์ และ อ.อาภรณ์ ชีรมงคลรัมย์ ที่ได้ให้คำแนะนำที่มีค่าแก่ผู้วิจัย

ผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตปริญญาเอก โท ตรี ทุกท่าน ในห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

และขอขอบคุณ บิดา มารดา พี่น้อง และเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจและช่วยให้การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ฉ
บทที่	
1. พื้นฐานและที่มาของหัวข้อวิทยานิพนธ์	
1.1 บทนำ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ .....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	2
2. การปลูกฟิล์ม a-Si:H โดยวิธี glow discharge plasma CVD	
2.1 บทนำ .....	4
2.2 ลักษณะทางโครงสร้างของวัสดุ a-Si:H .....	4
2.3 โครงสร้างของระบบ glow discharge plasma CVD .....	5
2.4 ขั้นตอนการเกิดของฟิล์ม a-Si:H .....	6
2.5 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์ม a-Si:H .....	8
2.6 ผลการปลูกฟิล์ม a-Si:H .....	12
2.7 สรุป .....	12
3. การวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ a-Si:H ด้วยวิธี CPM	
3.1 บทนำ .....	13
3.2 พื้นฐานการดูดกลืนแสงของวัสดุ a-Si:H .....	13
3.3 หลักการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในระดับโลกออลไลซ์สเตรทของ a-Si:H ด้วยวิธี Constant Photocurrent Method (CPM) .....	16
3.4 วิธีการวัดสเปกตรัมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ a-Si:H .....	18

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.4.1 การวัดสเปกตรัมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่านพลังงาน โฟตอนสูงกว่าช่องว่างพลังงาน .....	19
	3.4.2 การวัดสเปกตรัมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่านพลังงาน โฟตอนต่ำกว่าช่องว่างพลังงาน .....	20
	3.5 ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ a-Si:H ด้วยวิธี CPM ..	24
	3.6 สรุป .....	26
4.	การศึกษาคุณสมบัติทางโครงสร้างของวัสดุ a-Si:H	
	4.1 บทนำ .....	27
	4.2 หลักการวัด Electron Spin Resonant (ESR) .....	27
	4.3 การวัดความหนาแน่นของแขนขาดในฟิล์ม a-Si:H .....	29
	4.4 การวัดค่า g-factor ของฟิล์ม a-Si:H .....	30
	4.5 ผลการวัดความหนาแน่นของแขนขาด และค่า g-factor ในฟิล์ม a-Si:H	32
	4.6 สรุป .....	34
5.	เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางชนิด a-Si:H	
	5.1 บทนำ .....	35
	5.2 ข้อเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H .....	35
	5.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H .....	36
	5.4 การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H .....	37
	5.5 สรุป .....	40
6.	สรุปผลการวิจัย	
	รายการอ้างอิง .....	43
	การเผยแพร่ผลงานวิจัย .....	45
	ภาคผนวก ก. โปรแกรมซอฟต์แวร์สำหรับวัด ซีพีเอ็ม ด้วยคอมพิวเตอร์ NEC รุ่น PC - 9801 .....	46
	ประวัติผู้วิจัย .....	72



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	เงื่อนไขการปลูกฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิดบริสุทธิ์	9
2.2	ชนิดของแผ่นฐานที่ใช้ปลูกฟิล์ม	9
3.1	เงื่อนไขสำหรับการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน ด้วยวิธี CPM	22
4.1	เงื่อนไขสำหรับการวัด ESR ในฟิล์ม a-Si:H	30
5.1	เงื่อนไขการปลูกฟิล์มชั้น p-i-n ของเซลล์แสงอาทิตย์	38

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 เนื้อหาโครงสร้างของวิทยานิพนธ์ .....	3
2.1 โครงสร้างของวัสดุชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน .....	4
2.2 แผนผังระบบ glow discharge plasma CVD .....	5
2.3 ภาพถ่ายระบบ glow discharge plasma CVD .....	6
2.4 ปฏิกริยาที่เกิดบริเวณผิวฟิล์มขณะปลูกฟิล์ม a-Si:H .....	8
2.5 การควบคุมการโค้งงอในฟิล์ม a-Si:H .....	10
2.6 แผนผังขั้นตอนการปลูกฟิล์ม a-Si:H .....	11
3.1 ความหนาแน่นสถานะ (density of states) ของวัสดุโครงสร้างชนิดผลึก .....	14
3.2 ความหนาแน่นสถานะในสารกึ่งตัวนำชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน .....	14
3.3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ a-Si:H ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ .....	15
3.4 การเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนระหว่างสภาวะต่าง ๆ .....	16
3.5 สเปกตรัมการทะลุผ่านแสงของฟิล์มอะมอร์ฟิซิลิคอนที่วัดด้วยวิธี Transmission (T%) ในย่านความยาวคลื่นแสง 600 nm -1400 nm .....	19
3.6 สเปกตรัมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ a-Si:H ชนิดบริสุทธิ์คำนวณจากค่าการทะลุผ่านแสง (T%) ในย่านพลังงานโฟตอนสูงกว่าช่องว่างพลังงาน .....	20
3.7 สเปกตรัมกระแสไฟฟ้าโฟโตก่อนการวัด CPM .....	21
3.8 แผนภูมิวิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงด้วยวิธี CPM .....	21
3.9 ภาพถ่ายระบบการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงด้วยวิธี CPM .....	22
3.10 แผนภูมิการวัดจำนวนของโฟตอนที่ทำให้กระแสไฟฟ้าโฟโต ในการวัด CPM มีค่าคงที่ .....	23
3.11 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโฟตอนและความยาวคลื่นของแสงในการวัด CPM .....	23
3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $\alpha(h\nu)$ และ พลังงานโฟตอน $E(h\nu)$ ที่เงื่อนไขอุณหภูมิพื้นฐานในการปลูกฟิล์มต่างๆ .....	25
4.1 การเกิดปฏิกริยา Zeeman effect ใน lone pair electrons .....	29
4.2 ภาพสัญญาณ ESR ของ Mn <sup>2+</sup> marker .....	31
4.3 ตัวอย่างสเปกตรัมของสัญญาณ ESR ทั่วไป .....	32
4.4 สัญญาณ ESR จากฟิล์ม a-Si:H ชนิดบริสุทธิ์ : ปลูกที่ (ก) T <sub>s</sub> = 100°C (ข) T <sub>s</sub> = 200°C (ค) T <sub>s</sub> = 300°C .....	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง photoconductivity, darkconductivity, defect density จาก CPM และ ESR .....	35
5.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอนรอยต่อ Homojunction มีขั้วไฟฟ้าเป็น ITO / SnO <sub>2</sub> และ Al .....	37
5.2 ภาพถ่ายเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอนที่ประดิษฐ์ในวิทยานิพนธ์ .....	39
5.3 แผนภูมิการวัดลักษณะเอาต์พุทของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่อง Solar Simulator .....	39
5.4 ภาพถ่ายระบบการวัดลักษณะสมบัติเอาต์พุทของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่อง Solar Simulator .....	40
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุทของ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน ภายใต้แสง AM1 (100mW/cm <sup>2</sup> ) .....	40