

การศึกษาและการใช้แอนโนตีดอกซีเตชันเพื่อหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์



นาย ประมวล วงศ์อุงา

001551

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2523

I 16390623

A STUDY OF ANODIC OXIDATION AND ITS APPLICATION IN  
EVALUATION OF IMPURITY PROFILE

Mr. Pramuan Wongpunga

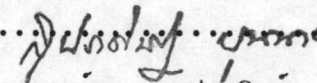
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Electrical Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University

1980

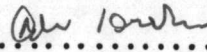
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาและการใช้แอนโนติคอกซิเดชัน เพื่อหา อิมเพียวริตีโปรไฟล์  
โดย                              นาย ประมวล วงศ์ทุ่งา  
ภาควิชา                         วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา            ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร


---

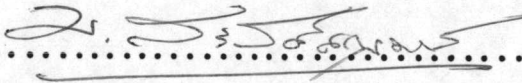
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

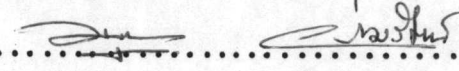
..........คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุญนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..........ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทิน เวทย์วัฒนะ)

..........กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ บัญญาแก้ว)

..........กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร)

..........กรรมการ  
(ดร. มนูญ อร่ามรัตน์)

ลิขลิข บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาและการใช้แอนโนดิกออกซิเดชัน เพื่อหาอิมพิียวริตีโปรไฟล์  
ชื่อผลิต                    นาย ประมวล วงศ์วงษา  
อาจารย์ที่ปรึกษา        ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร  
ภาควิชา                    วิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา                2522



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาการสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์โดยวิธีแอนโนดิกออกซิเดชัน (Anodic Oxidation) และนำผลไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาอิมพิียวริตีโปรไฟล์ (Impurity Profile) ของสารเจือปนที่แพร่ซึมในแวนดิลิก งานวิจัยเริ่มโดยการสร้างอุปกรณ์สำหรับการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนใหญ่มาก คือ แอนโนดิกเซลล์ (Anodic Cell) และแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรง (D. C. Power Supply) ซึ่งเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันได้จาก 0 ถึง 400 v และค่ากระแสได้จาก 0 ถึง 15 mA ทำการวิเคราะห์ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่สร้างขึ้นบนผิวหน้าของแวนดิลิกซิลิกอนชนิดพีและชนิดเอ็น (P-type และ N-type) เพื่อศึกษาถึงเงื่อนไขต่างๆ ในการสร้างชั้นออกไซด์ เช่น เวลาที่ใช้ ปริมาณความหนาแน่นของกระแส และปริมาณส่วนผสมของน้ำในสารละลาย หลังจากนั้นนำผลการสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ตามวิธีดังกล่าว ไปศึกษาอิมพิียวริตีโปรไฟล์ ของสารเจือปนที่แพร่ซึมในแวนดิลิกซิลิกอน ที่อุณหภูมิและเวลาในการแพร่ซึมต่างๆ

ผลการสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์วิธีนี้ใช้อุปกรณ์ที่ผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ขึ้น ซึ่งเป็นอุปกรณ์แบบง่ายๆ ราคาถูก และสะดวกในการใช้งานมาก ความหนาของชั้นออกไซด์อยู่ระหว่าง 0 ถึง 2000 Å ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์มีความเรียบสม่ำเสมอ หากความหนาของชั้นออกไซด์เกินกว่า 2000 Å ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์จะเกิดผิวขรุขระไม่เรียบสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ในการสร้างชั้นออกไซด์จะมีค่าลดลง เมื่อความต้านทานจำเพาะของแวนดิลิกต่ำลง หรือปริมาณความหนาแน่นของกระแสมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับผลการหาอิมพิียวริตีโปรไฟล์ปรากฏว่า เมื่อใช้ขั้นตอนในการแพร่ซึมสารเจือปน

จ

(Predeposition และ Drive-in) ต่างกัน เวลาในการแพร่ซึมสารเจือปนต่างกัน หรือความ  
ต้านทานจำเพาะของแผ่นผลึกฐานรองแตกต่างกัน จะได้ลักษณะการกระจายของสารเจือปนแตก  
ต่างกัน แต่เมื่อใช้ขนาดความหนาของชั้นซิลิกอนที่ลอกออกในขณะหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ของสอง  
ชั้นงานแตกต่างกัน จะได้ลักษณะการกระจายของสารเจือปนใกล้เคียงกันมาก นอกจากนั้นค่าสัม  
ประสิทธิ์ในการแพร่ซึมของสารเจือปนผ่านชั้นแอนโนต็อกไซด์ มีค่ามากกว่าชั้นออกไซด์จาก  
Thermal Oxidation

Thesis Title        A Study of Anodic Oxidation and its Application in  
                         Evaluation of Impurity Profile.  
Name                 Mr. Pramuan Wongpunga  
Thesis Advisor      Assistant Professor Montri Sawadsaringkarn, Dr. Ing.  
Department         Electrical Engineering  
Academic Year      1979

#### ABSTRACT

Anodic oxidation on silicon wafers was investigated and applied for probing the impurity profile of diffused layers. The experimental apparatus were an anodic cell and dc. power supply with an appropriate performance variable voltage from 0 V to 400 V and variable current from 0 mA to 15 mA. Anodic oxidation on both P- and N-type silicon wafers was carried out. The oxidation time, applied current density and optimum composition of electrolytes were studied under different conditions. Impurity profiles of diffused layers were measured by using the peel-off technique of the oxide.

The low cost and simple apparatus was used for growing oxide layer. It was found that the oxide layers with thickness between 0 Å and 2000 Å has a good quality, but the oxide layer thicker than 2000 Å became rough. For a given oxide thickness, shorter oxide growth time were obtained if low resistivity wafers or high current density was used. Many samples with different impurity profiles were probed in the sample with different diffusion processes and resistivity. Sample with the same diffusion

process has nearly the same profile regardless of peel-off thickness of the oxide layer. The masking property of an anodic oxide was less effective than that of thermally grown oxide.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ .....	ญ
รายการตารางประกอบ .....	ฉ
รายการรูปประกอบ .....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
2. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับชั้นออกไซด์ที่สร้างขึ้นบนแผ่นผลึกซิลิกอน .....	3
วิธีการสร้างชั้นออกไซด์ .....	3
โครงสร้างของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ .....	4
คุณสมบัติของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ .....	6
ประโยชน์ของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตสิ่งประดิษฐ์	
สารกึ่งตัวนำ .....	7
3. การสร้างชั้นออกไซด์โดยวิธีแอนโนดิกออกซิเดชัน .....	11
Gaseous Anodization .....	11
Electrolytic Anodization .....	11
กระบวนการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี .....	16
4. การสร้างเครื่องมือและการทดลอง .....	18
การสร้างเครื่องมือทำการวิจัย .....	18
วิธีการทดลอง .....	27





สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5. ผลการทดลองและวิจารณ์ .....	37
ผลการสร้างชิ้นแอนโนติกออกไซด์ .....	37
ผลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของชิ้นแอนโนติกออกไซด์ .....	49
ผลการหาค่าพีเอชของวรีตีโปรไฟล์ .....	50
6. สรุปผลการวิจัย .....	59
เอกสารอ้างอิง .....	61
ภาคผนวก .....	63
ประวัติ .....	65



กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำจากท่านคณาจารย์ ประจำ  
ห้องปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ แผนกวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีรายนามดังนี้  
คือ ผศ. ดร. จูทีน เวทย์วัฒนะ ผศ. ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว ผศ. ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร  
อ. ดร. มนูญ อ่วมรัตน์ โดยให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ให้ความช่วยเหลือตลอดเวลา รับผิดชอบ  
สอบความถูกต้องของผลการทดลองและการรายงานวิทยานิพนธ์ แนะนำแนวทางในการทำการทดลองค้น  
คว้า ตลอดจนเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาแก่ผู้เขียนวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด และคณาจารย์แผนกวิศวกรรม  
ไฟฟ้าทุกท่าน ผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ผู้เขียนขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ เจ้าหน้าที่  
ประจำโรงฝึกงาน เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ในด้านการอำนวยความสะดวก การใช้เครื่องมือ ตลอดจน  
งานธุรการต่าง ๆ

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอขอบคุณต่อบัณฑิตวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ  
ในการให้ทุนสำหรับการวิจัยแก่ผู้เขียนเป็นอย่างมาก

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์จากวิธีการสร้างแบบต่าง ๆ . . . . .	8
3.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในแอนโนดออกซิเดชัน . . . . .	15
4.1 แสดงค่า Correction Factor (C) . . . . .	32
5.1 ข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในการทำ แอนโนดออกซิเดชัน ด้วยขั้วแอนโนดแบบคีมจับ . . . . .	38
5.2 ข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา ในการทำแอนโนด ออกซิเดชันเมื่อใช้แอนโนดที่ออกแบบใหม่ เพื่อให้ได้ออกไซด์เกิดขึ้นบน ผิวแว่นผลึกเพียงด้านเดียว . . . . .	40
5.3 แสดงค่าความหนาแน่นของสารเจือปนที่ระดับความลึกจากผิวต่าง ๆ กัน ในการหาอิมเพดิมันซ์โพลาไรซ์เปรียบเทียบสมบัติการแพร่ซึมของ สารเจือปนผ่านชั้นแอนโนดออกไซด์และ Thermal Oxide ที่ ความหนา 1000 Å . . . . .	58

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้าง Tetrahedron ใน 2 และ 3 มิติของซิลิกอนไดออกไซด์ ..	5
2.2 โครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์เนื้อผสมใน 2 มิติ .....	7
2.3 ระดับผิวหน้าของแว่นผลึกก่อนและหลังการสร้างชั้นออกไซด์ .....	9
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแสกับเวลาของแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแส ตรงแบบผสม .....	14
4.1 ลักษณะของซีวคาโทด .....	19
4.2 ฐานรองซีวคาโทด .....	20
4.3 ซีวแอนโนดที่ออกแบบให้ เกิดชั้นออกไซด์ด้านเดียว .....	20
4.4 ซีวแอนโนดแบบใช้เข็มจับ .....	21
4.5 เครื่องกวนสารละลาย .....	22
4.6 วงจรภาคต้นกำเนิดอ้างอิง .....	23
4.7 วงจรภาคจ่ายกำลังไฟแรงดันคงที่ .....	24
4.8 วงจรภาคจ่ายกำลังไฟระแสดคงที่ .....	25
4.9 วงจรภาคการวัดแรงดันและกระแส .....	26
4.10 โครงสร้างและวงจรรวัดความต้านทานจำเพาะของชั้นออกไซด์ .....	30
4.11 อุปกรณ์การวัดแบบสี่จุด เรียงกัน .....	31
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานจำเพาะกับความหนาแน่นพาหะของ แว่นผลึกซิลิกอน .....	33
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในขณะที่ทำแอนโนดิกออกซิเดชัน โดย ใช้ซีวแอนโนดที่ออกแบบใหม่ เพื่อให้ออกไซด์ เกิดขึ้นบนผิวแว่นผลึกเพียง ด้านเดียว เมื่อใช้แรงดันเกินกว่า 250 โวลต์ .....	41

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในการทำแอนโนดิกออกซิเดชัน เมื่อ Limiting Voltage ต่างๆกัน .....	42
5.3 แสดงภาพของผิวออกไซด์ที่สร้างโดยวิธีแอนโนดิกออกซิเดชัน เมื่อกำหนดค่า Limiting Voltage เท่ากับ 200,350 V ตามลำดับ .....	43
5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในการทำแอนโนดิกออกไซด์ โดยใช้ขั้วแอนโนดที่ออกแบบให้เกิดออกไซด์บนผิวแผ่นผลึกเพียงด้านเดียวที่ Limiting Voltage ค่าต่างๆกัน .....	43
5.5 เส้นกราฟแสดงความหนาของชั้นออกไซด์ที่สร้างขึ้นจากค่าแรงดันต่างๆ .....	44
5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา ในการทำแอนโนดิกออกซิเดชัน บนแผ่นผลึกที่มีความต้านทานจำเพาะต่างกัน .....	45
5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในการทำแอนโนดิกออกซิเดชัน เปรียบเทียบกรณีที่ใช้เครื่องกวน (1) และไม่ใช้เครื่องกวน (2) .....	46
5.8 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาที่ใช้ในการทำแอนโนดิกออกซิเดชัน เมื่อใช้กระแสค่าต่างๆ (1,2,3) และมีการกวนสารละลาย (4) ขณะที่ใช้ Limiting Voltage คงที่ค่า 200 V .....	47
5.9 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาที่ใช้ในการทำแอนโนดิกออกซิเดชัน เมื่อแผ่นผลึกแบบพีที่เป็น Substrate เปรียบเทียบกรณีไม่มีแสง (1) และมีแสง (2) .....	48
5.10 ผลการทดลองหาอิมแพ็คพริสตีโพรไฟล์ โดยใช้เทคนิคการลอกชั้นแอนโนดิกออกไซด์ เปรียบเทียบขั้นตอนการแพร่ซึมในขั้นตอน Predeposition 10 นาที กับทางทฤษฎี .....	51

## รายการรูปประกอบ

หน้า

รูปที่

5.11 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ โดยใช้เทคนิคการลอกชั้นแอนโนติก ออกไซด์ เปรียบเทียบชั้นการแพร่ซึมในชั้นตอน Predeposition 15 นาที กับทางทฤษฎี .....	52
5.12 ผลการหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ โดยใช้เทคนิคการลอกชั้นแอนโนติกออกไซด์ เปรียบเทียบชั้นการแพร่ซึมในชั้นตอน Predeposition 10 นาที + Drive-in 30 นาที กับทางทฤษฎี .....	53
5.13 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ เปรียบเทียบการแพร่ซึมสาร เจือปน ในชั้นตอน Predeposition 10 นาที กับ Predeposition 10 นาที + Drive-in 30 นาที .....	54
5.14 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ โดยการลอกชั้นออกไซด์ของตัวอย่าง แว่นผลึกต่างกัน .....	55
5.15 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ ของชั้นการแพร่ซึมที่ใช้เวลาในการแพร่ ซึมแตกต่างกัน บนแว่นผลึกที่มีความต้านทานจำเพาะเท่ากัน .....	56
5.16 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ ของชั้นการแพร่ซึมที่ใช้เวลาและความ ต้านทานจำเพาะของแว่นผลึกแตกต่างกัน .....	57