การศึกษาและการใช้แอนโนดิคออกซิเดชันเพื่อหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์

นาย ประมวล วงศ์ภูงา

001551

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2523

I16390623

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	การศึกษาและการใช้แอนโนดิคออกซิเดชัน เพื่อหา อิมเพียวริตีโปรไฟล์
โดย	นาย ประมวล วงศ์ภูงา
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

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

.....กรรมการ
(ดร. มนูญ อร่ามรัตน์)

ลิขสิทธิ์บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาและการใช้แอนโนดิคออกซิเดชัน เพื่อหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์
ชื่อนิสิต	นาย ประมวล วงศ์ภูงา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2522

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาการสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์โดยวิธีแอนโนดิคออกซิเดชัน (Anodic Oxidation) และนำผลไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ (Impurity Profile) ของสารเจือปนที่แพร่ซึมในแว่นผลึก งานวิจัยเริ่มโดยการสร้างอุปกรณ์สำหรับการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ๆ คือ แอนโนดิคเซล (Anodic Cell) และแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรง (D. C. Power Supply) ซึ่งเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันได้จาก 0 ถึง 400 V และค่ากระแสได้จาก 0 ถึง 15 mA ทำการวิเคราะห์ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่สร้างขึ้นบนผิวหน้าของแว่นผลึกซิลิ-กอนชนิดพีและชนิดเอ็น (P-typeและN-type) เพื่อศึกษาถึงเงื่อนไขต่างๆ ในการสร้างชั้นอ๊อกไซด์ เช่น เวลาที่ใช้ ปริมาณความหนาแน่นของกระแส และปริมาณส่วนผสมของน้ำในสารละลาย หลังจากนั้นนำผลการสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ตามวิธีดังกล่าว ไปศึกษาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ ของสารเจือปนที่แพร่ซึมในแว่นผลึกซิลิกอน ที่อุณหภูมิและเวลาในการแพร่ซึมต่างๆ

ผลการสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์วิธีนี้ใช้อุปกรณ์ที่ผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ขึ้น ซึ่งเป็นอุปกรณ์แบบง่ายๆ ราคาถูก และสะดวกในการใช้งานมาก ความหนาของชั้นอ๊อกไซด์อยู่ระหว่าง 0 ถึง 2000 Å ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์มีความเรียบสม่ำเสมอ หากความหนาของชั้นอ๊อกไซด์เกินกว่า 2000 Å ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์จะเกิดผิวขรุขระไม่เรียบสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ในการสร้างชั้นอ๊อกไซด์จะมีค่าลดลง เมื่อความต้านทานจำเพาะของแว่นผลึกต่ำลง หรือปริมาณความหนาแน่นของกระแสมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับผลการหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ปรากฏว่า เมื่อใช้ขั้นตอนในการแพร่ซึมสารเจือปน

(Predeposition และ Drive-in)ต่างกัน เวลาในการแพร่ซึมสารเจือปนต่างกัน หรือความต้านทานจำเพาะของแว่นผลึกฐานรองแตกต่างกัน จะได้ลักษณะการกระจายของสารเจือปนแตกต่างกัน แต่เมื่อใช้ขนาดความหนาของชั้นซิลิกอนที่ลอกออกในขณะหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ของสองชิ้นงานแตกต่างกัน จะได้ลักษณะการกระจายของสารเจือปนใกล้เคียงกันมาก นอกจากนั้นค่าสัมประสิทธิ์ในการแพร่ซึมของสารเจือปนผ่านชั้นแอนโนดิคออกไซด์ มีค่ามากกว่าชั้นอ๊อกไซด์จาก 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 form 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	ฎ
รายการรูปประกอบ	ฏ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับชั้นอ๊อกไซด์ที่สร้างขึ้นบนแว่นผลึกซิลิกอน	3
วิธีการสร้างชั้นอ๊อกไซด์	3
โครงสร้างของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์	4
คุณสมบัติของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์	6
ประโยชน์ของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ	7
3. การสร้างชั้นอ๊อกไซด์โดยวิธีแอนโนดิคออกซิเดชัน	11
Gaseous Anodization	11
Electrolytic Anodization	11
กระบวนการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี	16
4. การสร้างเครื่องมือและการทดลอง	18
การสร้างเครื่องมือทำการวิจัย	18
วิธีการทดลอง	27

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
5.	ผลการทดลองและวิจารณ์	37
	ผลการสร้างชั้นแอนโนดิคออกไซด์	37
	ผลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นแอนโนดิคออกไซด์	49
	ผลการหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์	50
6.	สรุปผลการวิจัย	59
เอกสารอ้างอิง		61
ภาคผนวก		63
ประวัติ		65

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำจากท่านคณาจารย์ ประจำห้องปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ แผนกวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีรายนามดังนี้ คือ ผศ. ดร. สุทิน เวทย์วัฒนะ ผศ. ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว ผศ. ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร อ. ดร. มนูญ อร่ามรัตน์ โดยให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ให้ความช่วยเหลือตลอดเวลา รับตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองและการรายงานวิทยานิพนธ์ แนะแนวทางในการทำการทดลองค้นคว้า ตลอดจนเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาแก่ผู้เขียนวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด และคณาจารย์แผนกวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ผู้เขียนขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ เจ้าหน้าที่ประจำโรงฝึกงาน เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ในด้านการอำนวยความสะดวก การใช้เครื่องมือ ตลอดจนงานธุรการต่าง ๆ

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอขอบคุณต่อบัณฑิตวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ในการให้ทุนสำหรับการวิจัยแก่ผู้เขียนเป็นอย่างมาก

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่

2.1 แสดงคุณสมบัติของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์จากวิธีการสร้างแบบต่าง ๆ 8

3.1 สารละลายอิเลคโตรไลท์ที่ใช้ในแอนโนดิคออกซิเดชัน 15

4.1 แสดงค่า Correction Factor (C) 32

5.1 ข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในการทำแอนโนดิคออกซิเดชัน ด้วยขั้วแอนโนดแบบคีมจับ 38

5.2 ข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา ในการทำแอนโนดิคออกซิเดชันเมื่อใช้แอนโนดที่ออกแบบใหม่ เพื่อให้อ๊อกไซด์เกิดขึ้นบนผิวแว่นผลึกเพียงด้านเดียว 40

5.3 แสดงค่าความหนาแน่นของสารเจือปนที่ระดับความลึกจากผิวต่าง ๆ กัน ในการหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของสารเจือปนผ่านชั้นแอนโนดิคออกไซด์และ Thermal Oxide ที่ความหนา 1000 Å 58

รายการรูปประกอบ

หน้า

รูปที่

2.1 แสดงโครงสร้าง Tetrahedron ใน 2 และ 3 มิติของซิลิกอนไดออกไซด์ .. 5

2.2 โครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์เนื้อผสมใน 2 มิติ 7

2.3 ระดับผิวหน้าของแว่นผลึกก่อนและหลังการสร้างชั้นอ๊อกไซด์ 9

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแสกับเวลาของแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรงแบบผสม 14

4.1 ลักษณะของขั้วคาโทด 19

4.2 ฐานรองขั้วคาโทด 20

4.3 ขั้วแอนโนดที่ออกแบบให้เกิดชั้นอ๊อกไซด์ด้านเดียว 20

4.4 ขั้วแอนโนดแบบใช้ศีมจับ 21

4.5 เครื่องกวนสารละลาย 22

4.6 วงจรภาคต้นกำเนิดอ้างอิง 23

4.7 วงจรภาคจ่ายกำลังไฟแรงดันคงที่ 24

4.8 วงจรภาคจ่ายกำลังไฟกระแสคงที่ 25

4.9 วงจรภาคการวัดแรงดันและกระแส 26

4.10 โครงสร้างและวงจรการวัดความต้านทานจำเพาะของชั้นอ๊อกไซด์ 30

4.11 อุปกรณ์การวัดแบบสี่จุดเรียงกัน 31

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานจำเพาะกับความหนาแน่นพาหะของแว่นผลึกซิลิกอน 33

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในขณะทำแอนโนดิคออกซิเดชัน โดยใช้ขั้วแอนโนดที่ออกแบบใหม่ เพื่อให้อ๊อกไซด์เกิดขึ้นบนผิวแว่นผลึกเพียงด้านเดียว เมื่อใช้แรงดันเกินกว่า 250 โวลต์ 41

รายการรูปประกอบ

หน้า

รูปที่

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในการทำแอนโนดิคออกซิเดชัน เมื่อ Limiting Voltage ต่างๆกัน 42

5.3 แสดงภาพของผิวอ๊อกไซด์ที่สร้างโดยวิธีแอนโนดิคออกซิเดชัน เมื่อกำหนดค่า Limiting Voltage เท่ากับ 200,350 V ตามลำดับ 43

5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในการทำแอนโนดิคออกไซด์ โดยใช้ขั้วแอนโนดที่ออกแบบให้เกิดอ๊อกไซด์บนผิวแว่นผลึกเพียงด้านเดียวที่ Limiting Voltage ค่าต่างๆกัน 43

5.5 เส้นกราฟแสดงความหนาของชั้นอ๊อกไซด์ที่สร้างขึ้นจากค่าแรงดันต่างๆ 44

5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา ในการทำแอนโนดิคออกซิเดชันบนแว่นผลึกที่มีความต้านทานจำเพาะต่างกัน 45

5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในการทำแอนโนดิคออกซิเดชัน เปรียบเทียบกรณีที่ใช้เครื่องกวน (1) และไม่ใช้เครื่องกวน (2) 46

5.8 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาที่ใช้ในการทำแอนโนดิคออกซิเดชัน เมื่อใช้กระแสค่าต่างๆ (1,2,3) และมีการกวนสารละลาย (4) ขณะที่ใช้ Limiting Voltage คงที่ค่า 200 V 47

5.9 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาที่ใช้ในการทำแอนโนดิคออกซิเดชัน เมื่อแว่นผลึกแบบพีที่เป็น Substrate เปรียบเทียบกรณีไม่มีแสง (1) และมีแสง (2) 48

5.10 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ โดยใช้เทคนิคการลอกชั้นแอนโนดิคออกไซด์ เปรียบเทียบชั้นการแพร่ซึมในขั้นตอน Predeposition 10 นาที กับทางทฤษฎี 51

รายการรูปประกอบ

หน้า

รูปที่

5.11 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ โดยใช้เทคนิคการลอกชั้นแอนโนดิคออกไซด์ เปรียบเทียบชั้นการแพร่ซึมในขั้นตอน Predeposition 15 นาที กับทางทฤษฎี 52

5.12 ผลการหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ โดยใช้เทคนิคการลอกชั้นแอนโนดิคออกไซด์ เปรียบเทียบชั้นการแพร่ซึมในขั้นตอน Predeposition 10 นาที + Drive-in 30 นาที กับทางทฤษฎี 53

5.13 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ เปรียบเทียบการแพร่ซึมสารเจือปนในขั้นตอน Predeposition 10 นาที กับ Predeposition 10 นาที + Drive-in 30 นาที 54

5.14 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ โดยการลอกชั้นอ๊อกไซด์ของตัวอย่างแว่นผลึกต่างกัน 55

5.15 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ ของชั้นการแพร่ซึมที่ใช้เวลาในการแพร่ซึมแตกต่างกัน บนแว่นผลึกที่มีความต้านทานจำเพาะเท่ากัน 56

5.16 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ ของชั้นการแพร่ซึมที่ใช้เวลาและความต้านทานจำเพาะของแว่นผลึกแตกต่างกัน 57