



บทที่ 5

### ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ผลการสร้างชั้นแอนโนดออกไซด์ ผลการวัดความต้านทานจำเพาะของชั้นแอนโนดออกไซด์ และผลการหาอิมพีแอดริวิตีโปรไฟล์ของสารเจือปนที่แพร่ซึมในแว่นผลึกซิลิกอน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### ผลการสร้างชั้นแอนโนดออกไซด์

ออกไซด์ที่สร้างโดยวิธีแอนโนดออกซิเดชันเรียกว่า "แอนโนดออกไซด์" คุณสมบัติทางเคมีและทางไฟฟ้าของออกไซด์นี้แตกต่างไปจากซิลิกอนไดออกไซด์ ที่ได้จากกรรมวิธีการสร้างชั้นออกไซด์วิธีอื่นๆ และจุดประสงค์ใหญ่ของการสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ ก็คือต้องการนำผลจากกรรมวิธีนี้ไปใช้ในการหาอิมพีแอดริวิตีโปรไฟล์ในแว่นผลึก ดังนั้นชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จะต้องมีความหนาสม่ำเสมอ และควรใช้เวลาในการสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์น้อยที่สุดด้วย เงื่อนไขในการสร้างชั้นออกไซด์ต่างๆนั้น ขึ้นอยู่กับแพ็คเกจหลายประการ ได้แก่ ความหนาของชั้นออกไซด์ ความต้านทานจำเพาะของแว่นผลึก และปริมาณความหนาแน่นของกระแส เป็นต้น

#### 1. ผลการสร้างชั้นออกไซด์ด้วยขั้วแอนโนดแบบต่างๆ

ในการสร้างชั้นแอนโนดออกไซด์บนแว่นผลึกซิลิกอนชนิดพี ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ปริมาตร  $225 \text{ cm}^3$  ซึ่งประกอบด้วย Ethylene Glycol เป็นส่วนผสมหลัก ผสมกับ  $\text{KNO}_3$  หนัก  $1 \text{ gm}$  และน้ำ  $2, 5, 10, 20$  และ  $50 \text{ cm}^3$  ตามลำดับ ปริมาตรของน้ำในส่วนผสมของสารละลายนี้จะมีผลต่อ Ionic Current Efficiency\* และค่าดัชนีหักเหของชั้นออกไซด์ที่ได้ และได้มีการ

$$\text{*Ionic Current Efficient} = \frac{\text{(Ionic Current Density Used in Oxide Growth)}}{\text{(Total Current Density)}} = \frac{J}{J_{\text{total}}}$$

เมื่อใช้สารละลาย $C_2H_6O_2 + 1 \text{ gm } KNO_3 + 5 \text{ cc } H_2O$ ปริมาตร 225 cc โดยกำหนดให้ limiting Current เท่ากับ 7 mA และระยะระหว่างขั้วแอโนด-คาโทดเท่ากับ 2 cm							
Limiting Voltage (V)	50	100	150	200	250	300	350
Initial Voltage (V)	25	8	8.5	7.2	8	10	8
Net Forming Voltage (V) *	25	90	140	192	239	286	336
Oxide Growth Time (min.)	5	42	61	78	85	42 <sup>a</sup>	45.5 <sup>b</sup>
Oxide Colour	Tan	Brown	Violet	Royal Blue	Light Blue	Metallic	Yellow
Oxide Thickness (Å)	500	700	1000	1200	1500	1700	2000

\*Net Forming Voltage = Limiting Voltage - Initial Voltage

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในการทำแอโนดออกซิเดชันด้วยขั้วแอโนดแบบคิมจับ

ทดลองพบว่าค่าดัชนีหักเหของชั้นออกไซด์จะมีค่าสูงสุดเมื่อส่วนผสมของน้ำมีปริมาตร  $5 \text{ cm}^3$  ในสารละลาย<sup>(9)</sup>

ผลการทดลองต่อไปนี้เป็นข้อมูลที่ได้ เมื่อใช้สารละลายที่มีส่วนผสมของน้ำ  $5 \text{ cm}^3$  ในการสร้างชั้นออกไซด์ โดยเปลี่ยน Limiting Voltage จากค่า 50, 100, 150, 200, 250, 300 และ 350 Volts ตามลำดับ แล้วบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา ในขณะที่กระแสมีค่าคงที่ 7 mA ข้อมูลดังกล่าวเขียนแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตัวเลขข้อมูลที่ไม่มีเครื่องหมายใดๆ หมายถึงการใช้ขั้วแอนโนดแบบคิมจับที่ทำด้วยโลหะแทน ทาลัม (Tantalum) เพื่อยึดด้านข้างของแวนผลึกแล้วจุ่มลงในสารละลายหมดทั้งชิ้นรวมทั้งบางส่วนของคิมด้วย

(a) และ (b) ที่กำกับบนข้อมูลระบุถึงลักษณะการจัดวางขั้วแอนโนด และขนาดของแวนผลึก โดยตัวเลขข้อมูลซึ่งมี (a) กำกับอยู่หมายถึงข้อมูลที่ได้จากแวนผลึกที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากับพื้นที่หน้าตัดของแวนผลึกที่ไม่มีเครื่องหมายใดๆ ส่วนตัวเลขข้อมูลซึ่งมี (b) กำกับอยู่ หมายถึงข้อมูลที่ได้จากแวนผลึกที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากับพื้นที่หน้าตัดของแวนผลึกที่ไม่มีเครื่องหมายใดๆ และใช้ขั้วแอนโนดแบบคิมจับแต่จุ่มในสารละลายเพียงบางส่วนของแวนผลึกเท่านั้น โดยมีให้คิมจับจุ่มลงในสารละลายแม้แต่นิดเดียว ที่ทำเช่นนี้เพื่อป้องกันมิให้ขั้วโลหะแทนทาลัมเกิดเป็นอ็อกไซด์เหมือนเมื่อจุ่มอยู่ในสารละลาย หากแรงดันสูงเกินกว่า 300 V ชั้นอ็อกไซด์ที่สร้างได้บนแวนผลึกมีความหนาประมาณ 2000 Å ดังนั้นแทนที่กระแสที่จะไหลผ่านแวนผลึกและชั้นอ็อกไซด์ แต่กลับไหลผ่านขั้วโลหะแทนทาลัมไปยังสารละลายและขั้วคาโทดโดยตรง ซึ่งจะสังเกตเห็นปรากฏการณ์นี้ได้เมื่อใช้แรงดันสูงเกินกว่า 300 V จะเกิดสะเก็ดอ็อกไซด์ที่หลุดกระเทาะออกมาจากขั้วโลหะแทนทาลัมตกอยู่ในสารละลายใกล้ขั้วโลหะแทนทาลัม

การใช้ขั้วแอนโนดแบบคิมจับนี้มีข้อเสียคือ ชั้นอ็อกไซด์จะเกิดขึ้นทั้งสองด้านของแวนผลึก เพราะจะต้องใช้เวลาในการสร้างชั้นอ็อกไซด์นาน ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบขั้วแอนโนดเสียใหม่ดังอธิบายไว้ในบทที่ 4 (เกี่ยวกับการออกแบบสร้างขั้วแอนโนด) เพื่อให้ชั้นอ็อกไซด์เกิดขึ้นบนผิวแวนผลึกเพียงด้านเดียว ข้อมูลการทดลองโดยใช้ขั้วแอนโนดที่ออกแบบใหม่นี้แสดงดังตารางที่ 5.2

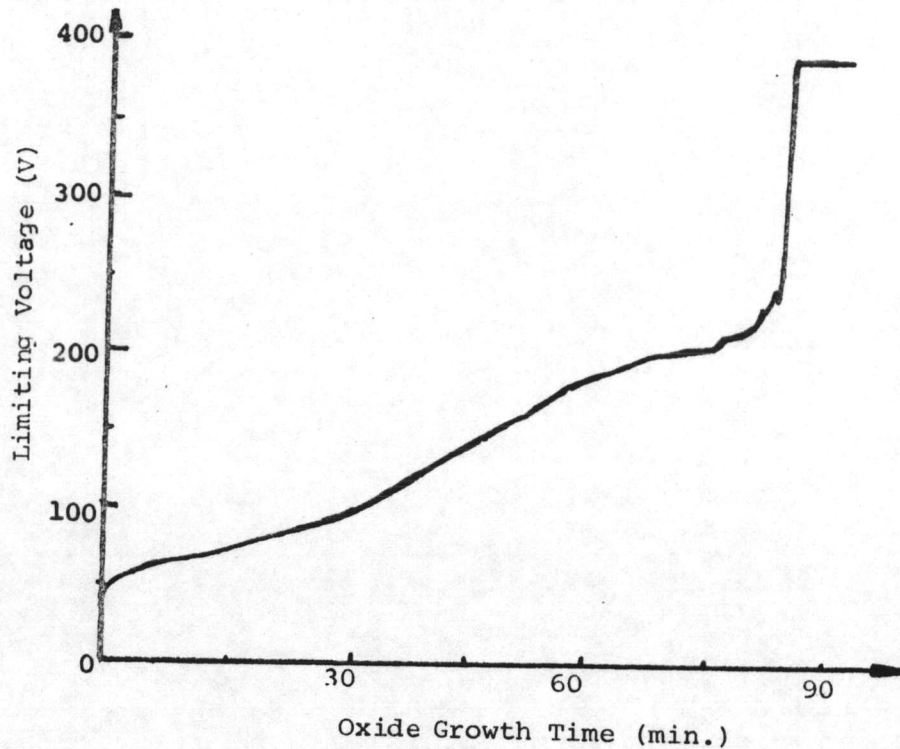


เมื่อใช้สารละลาย $C_2H_6O_2 + 1 \text{ gm } KNO_3 + 5 \text{ cc } H_2O$ ปริมาตร 225 cc โดยกำหนด Limiting Current เท่ากับ 7 mA และระยะระหว่างแอนโนดกับคาโทดเท่ากับ 2 cm				
Limiting Voltage (V)	100	150	200	250
Initial Voltage (V)	12	10	8	9.4
Net Forming Voltage (V)*	88	139	190	240
Oxide Growth Time (min.)	22	34	45	50
Oxide Colour	Brown	Royal Blue	Metallic Blue	Light Gold
Oxide Thickness (A)	700	1100	1500	1800

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา ในการทำแอนโนดิก ออกซิเดชันเมื่อใช้แอนโนดที่ออกแบบใหม่ เพื่อสกัดออกไซด์เกิดขึ้นบน ผิวแว่นผลึกเพียงด้านเดียว

การใช้ขั้วแอนโนดลักษณะใหม่นี้ ก็เกิดปัญหาเกี่ยวกับการเกิดออกไซด์บนขั้ว แทนทาลัมเหมือนกัน เพราะสารละลายสามารถซึมเข้าหาขั้วโลหะแทนทาลัมที่สัมผัสอยู่กับผิวด้านหลังของแว่นผลึกได้ การนำไฟฟ้าของขั้วโลหะแทนทาลัมจึงเลวลง การต่อเชื่อมระหว่างแว่นผลึกกับแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรง จึงกลายเป็นวงจรเปิด ปรากฏการณ์อันนี้สังเกตได้จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาดังรูปที่ 5.1 คือจะสังเกตเห็นแรงดันเพิ่มตามเวลา จนเมื่อแรงดันสูงเกินกว่า 250 V แรงดันจะเปลี่ยนเป็นค่าของ Limiting Voltage ทันที

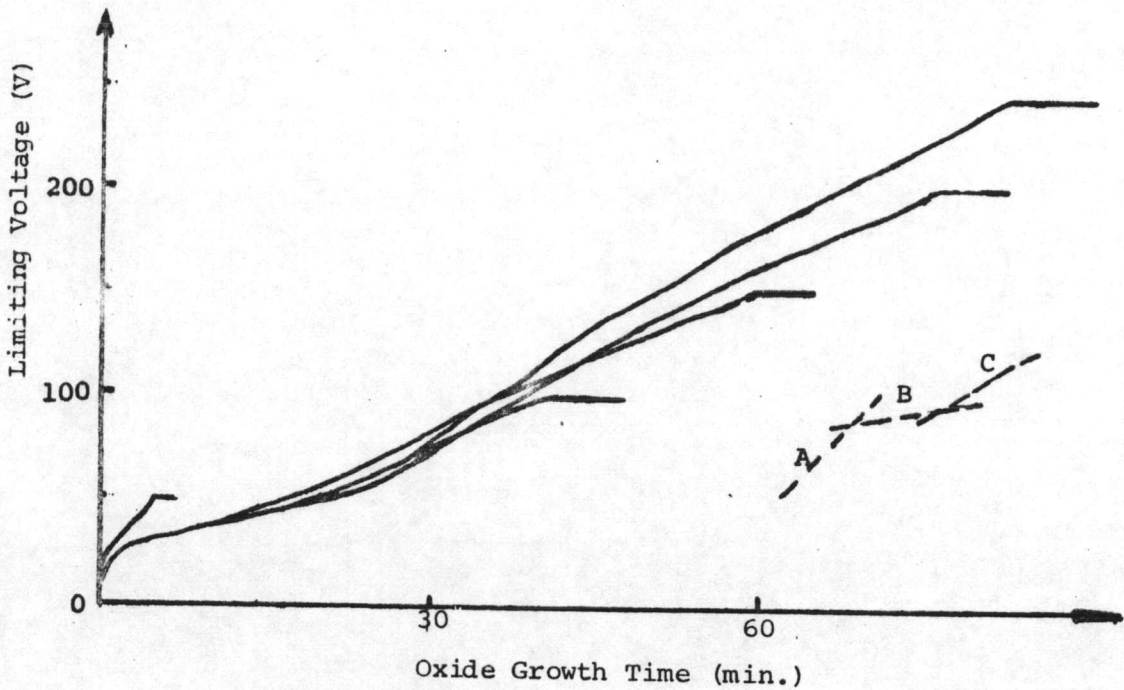
\* Net Forming Voltage = Limiting Voltage - Initial Voltage



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในขณะทำแอนโนดออกซิเดชัน โดยใช้ขั้วแอนโนดที่ออกแบบใหม่ เพื่อให้ ออกไซด์ เกิดขึ้นบนผิวแว่นผลึกเพียงด้านเดียว เมื่อใช้แรงดันเกินกว่า 250 โวลต์

รูปที่ 5.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในการทำแอนโนดออกซิเดชัน โดยมีค่า Limiting Voltage เป็นพารามิเตอร์ เส้นกราฟดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วน (A, B และ C ตามขนาดความเอียงตั้งระบุไว้ในรูป เมื่อค่า Limiting Voltage เท่ากับ 50 V เส้นกราฟจะมีเพียงช่วง A เท่านั้น อัตราการเกิดขึ้นออกไซด์ในช่วง A นี้รวดเร็วมาก<sup>(8,9)</sup> เมื่อเพิ่ม Limiting Voltage สูงกว่า 50 V เส้นกราฟจะประกอบด้วยช่วง A, B และ C ช่วง B นั้นมีความเอียงน้อยกว่าช่วง A แสดงว่าอัตราการสร้างชั้นออกไซด์เริ่มลดลง และอัตราการสร้างชั้นออกไซด์จะเพิ่มขึ้นอีก ดังปรากฏในเส้นกราฟช่วง C

จากการทดลองพบว่า Limiting Voltage ไม่ควรมีค่าสูงกว่า 300 V เพราะชั้นออกไซด์ที่สร้างได้จะเริ่มมีผิวขรุขระ Limiting Voltage 300 V นี้จะสร้างชั้นออกไซด์ได้หนาเพียงประมาณ 2000 Å ซึ่งเป็นขีดจำกัดของเทคนิคการสร้างชั้นออกไซด์ที่มีคุณภาพดี โดยวิธีแอนโนดิก



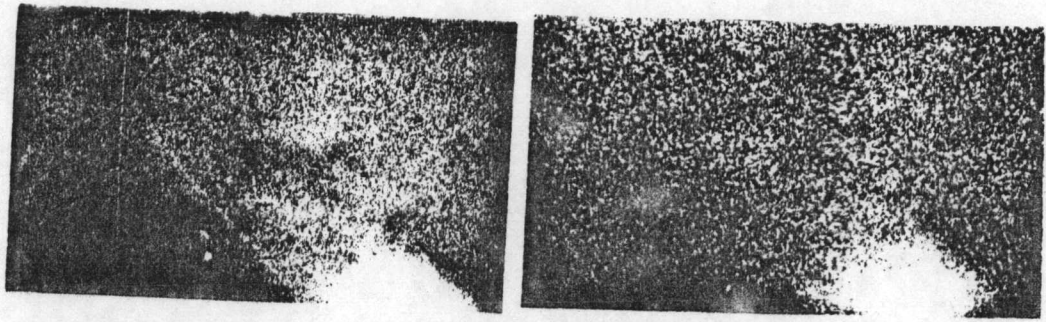
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา ในการทำแอนโนดออกซิเดชัน เมื่อ Limiting Voltage ต่างๆกัน

ออกซิเดชันเราจึงเรียกว่าแรงดันและความหนาดังกล่าวว่าเป็นค่าแรงดันวิกฤต (Critical Voltage) และความหนาวิกฤต (Critical Thickness) รูปที่ 5.3 ก และ ข เป็นภาพของผิวออกไซด์ที่สร้างขึ้นเมื่อกำหนดค่า Limiting Voltage เท่ากับ 200 V และ 350 V ตามลำดับสภาพผิวของรูป ก เรียกว่ารูป ข มาก โดยสังเกตจากสีและความมันวาวของแว่นผลึก

รูปที่ 5.4 แสดงถึงการสร้างชั้นออกไซด์ด้วยขั้วแอนโนด ที่ออกแบบให้เกิดออกไซด์บนผิวแว่นผลึกเพียงด้านเดียว จะเห็นได้ว่า เวลาที่ใช้ในการสร้างชั้นออกไซด์สั้นกว่าเมื่อใช้ขั้วแอนโนดแบบคีมจับ

เส้นกราฟที่แสดงในรูปที่ 5.2 และ 5.4 ถือเป็นแรงดันเริ่มต้น มิได้ เริ่มจากค่าศูนย์โวลต์ แต่จะมีค่าเริ่มประมาณ 7-15 V

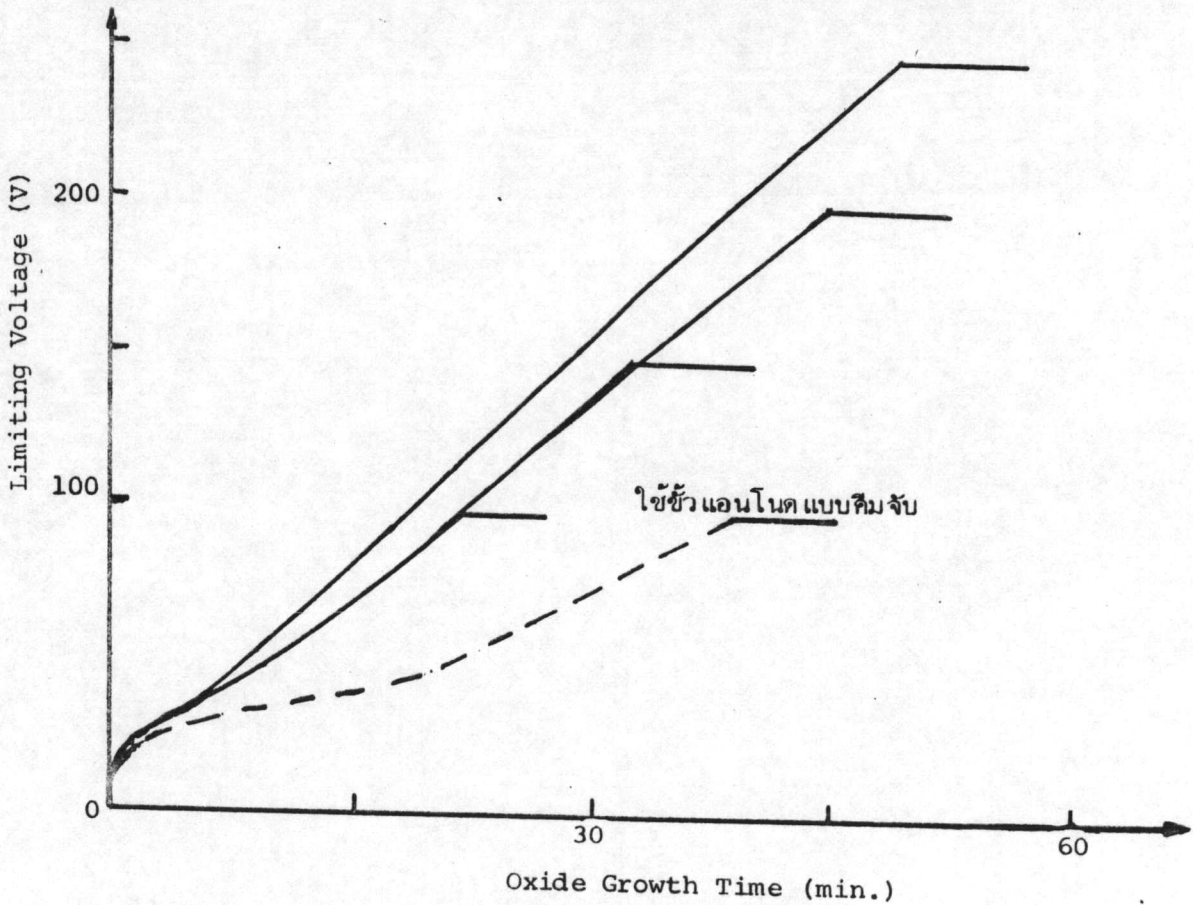




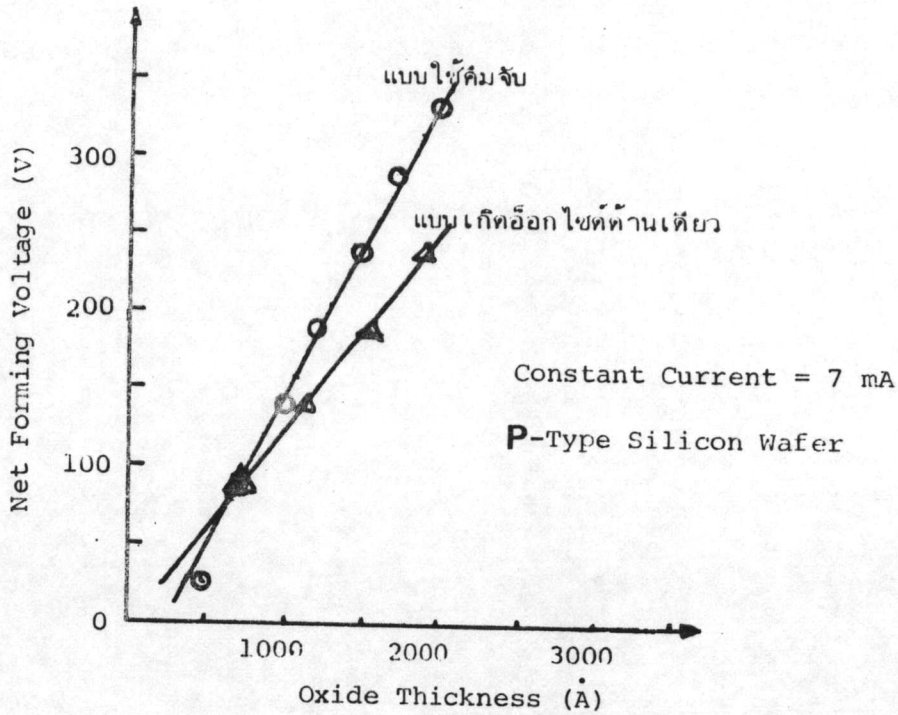
ก

ข

รูปที่ 5.3 แสดงภาพของผิวออกไซด์ที่สร้างโดยวิธีแอนโนดิกออกซิเดชัน เมื่อกำหนดค่า Limiting Voltage เท่ากับ 200,350 V ตามลำดับ



รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในการทำแอนโนดิกออกไซด์ โดยใช้ขั้วแอนโนดที่ออกแบบให้เกิดออกไซด์บนผิวแวนดิลิกเพียงด้านเดียวที่ Limiting Voltage ค่าต่างๆกัน



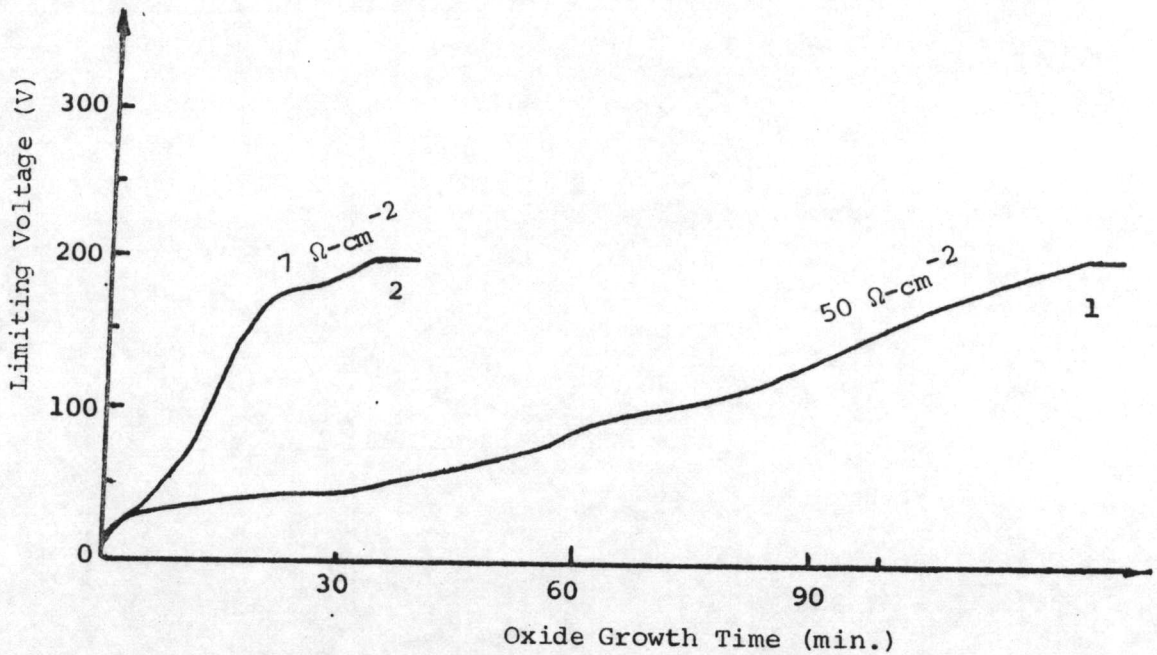
รูปที่ 5.5 เส้นกราฟแสดงความหนาของชั้นออกไซด์ที่สร้างขึ้นจากค่าแรงดันต่างๆ

อนึ่งชั้นแอนโนดิกออกไซด์ที่สร้างขึ้นมามีความหนาน้อยมาก และมีค่าอยู่ในช่วง 0-2000 Å ชั้นออกไซด์ที่ได้มีความสม่ำเสมอพอสมควร เราอาจใช้วิธีการนี้สร้างชั้นออกไซด์ให้หนามากกว่า 2000 Å ได้ แต่ชั้นออกไซด์หนาไม่เรียบสม่ำเสมอ ในการวัดความหนาที่มีอุปสรรค เพราะไม่มีเครื่องมือวัดที่ใช้เฉพาะงานดังกล่าว เราจึงวัดความหนาของชั้นแอนโนดิกออกไซด์ โดยการสังเกตสีที่เกิด เมื่อมองในแนวตั้งฉากกับผิวหน้าชั้นออกไซด์นั้น ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในเวลา กลางวันเปรียบเทียบกับสีที่สังเกตเห็นได้จากข้อมูลความหนา-สีของออกไซด์ ดังตารางที่ B ในภาคผนวก

รูปที่ 5.5 แสดงถึงความหนาของชั้นออกไซด์ที่สร้างขึ้นจากค่าแรงดัน (ผลต่างระหว่าง Limiting Voltage และ Initial Voltage ต่างๆ ทั้งในกรณีที่ใช้ขั้วแอนโนดแบบคีมจับ และแบบที่จะให้เกิดชั้นออกไซด์เพียงด้านเดียว โดยใช้ค่ากระแสคงที่ 7 mA ซึ่งพบว่า

1. ความสัมพันธ์ของแรงดันที่ใช้ในการสร้างชั้นออกไซด์และความหนาของชั้นออกไซด์ เป็นแบบเส้นตรงในช่วงที่ผิวของชั้นออกไซด์ยังเรียบสม่ำเสมออยู่
2. ที่ค่าแรงดันเท่ากัน ความหนาของชั้นออกไซด์ที่สร้างโดยใช้ขั้วแอนโนดแบบที่ให้ชั้นออกไซด์เพียงด้านเดียว จะมากกว่าที่ใช้ขั้วแอนโนดแบบคีมจับประมาณ 1.5 เท่า แสดงให้เห็นถึง





รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา ในการทำแอนโนดิกออกซิเดชัน บนแผ่นผลึกที่มีความต้านทานจำเพาะต่างกัน

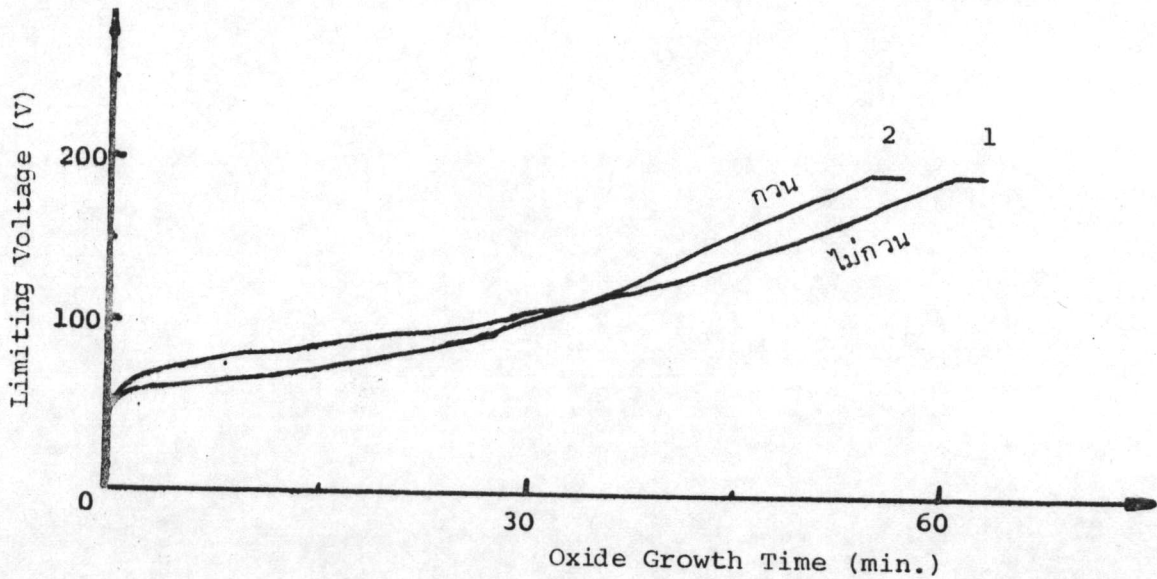
ข้อได้เปรียบของการสร้างชั้นออกไซด์ด้วยขั้วแอนโนดแบบแรก เพราะใช้แรงดันต่ำกว่า

## 2. เงื่อนไขต่างๆที่เป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดชั้นออกไซด์

ได้มีการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขต่างๆที่เป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดชั้นออกไซด์ และได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

- ก. แผ่นผลึกที่มีค่าความต้านทานจำเพาะสูง จะมีอัตราการเกิดชั้นออกไซด์ช้ากว่า
- ข. เทคนิคการกวนสารละลายจะช่วยให้อัตราการเกิดชั้นออกไซด์เร็วขึ้น
- ค. อัตราการเกิดชั้นออกไซด์จะเร็วขึ้นตามปริมาณกระแสไฟฟ้าใช้
- ง. อัตราการเกิดชั้นออกไซด์ของแผ่นผลึกมีความต้านทานจำเพาะสูง เช่น Substrate จะเร็วขึ้นเมื่อมีการฉายแสง

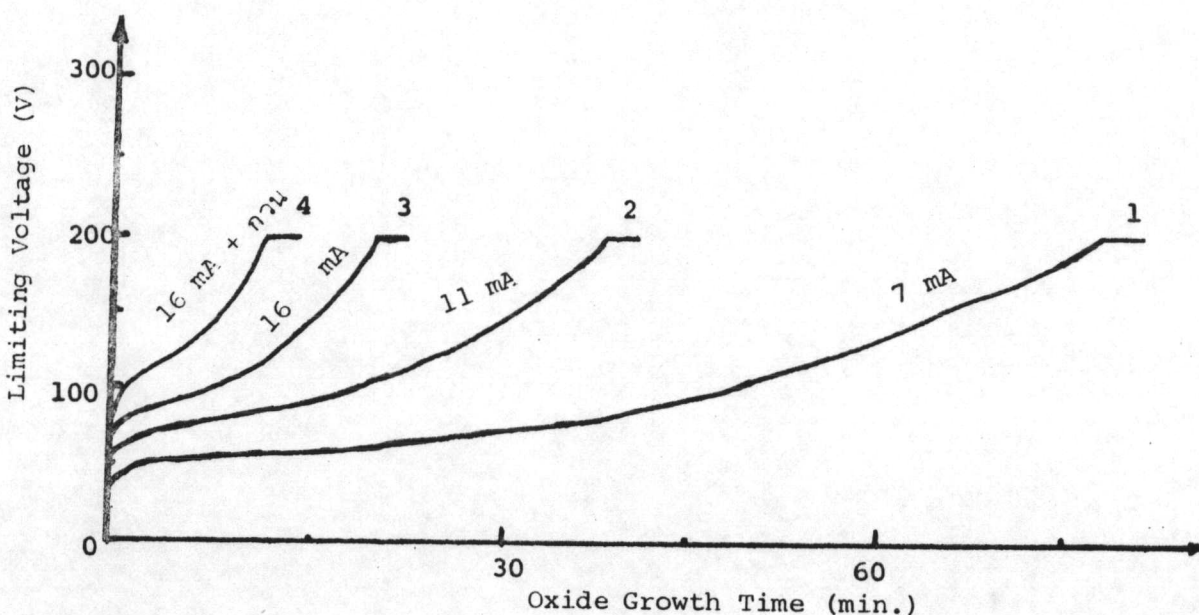
รูปที่ 5.6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา ในการเกิดแอนโนดิกออกไซด์ บนแผ่นผลึกที่มีความต้านทานจำเพาะต่างกัน เส้นกราฟที่ 1 เป็นกรณีของแผ่นผลึกที่มีชั้นแพร์ซิมด้วยสารเจือปนหนาแน่นกว่าเส้นกราฟที่ 2 เกิดปฏิกิริยาสร้างชั้นออกไซด์จึงได้เร็วกว่า



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาในการทำแอนโนดิกออกซิเดชัน เปรียบเทียบกรณีที่ใช้เครื่องกวน (1) และไม่ใช้เครื่องกวน (2)

รูปที่ 5.7 แสดงถึงอิทธิพลของการกวนสารละลายที่มีต่อเวลาที่ใช้ในการทำแอนโนดิกออกซิเดชัน เส้นกราฟที่ 2 เป็นกรณีที่ไม่ใช้เครื่องกวน เส้นกราฟที่ 1 เป็นกรณีที่มีเครื่องกวน ตำแหน่งที่กวนอยู่บริเวณข้างๆ อิเล็กโทรดทั้งสองซึ่งส่งผลให้อัตราการเกิดชั้นออกไซด์เร็วขึ้น เหตุผลที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์คือ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้านั้นจะมีฟองแก๊สปรากฏที่ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง จึงทำให้ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านลดลง การกวนสารละลายจึงเป็นวิธีไล่ฟองก๊าซให้หลุดจากผิวแอโนด ผลก็คือ

รูปที่ 5.8 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ใช้ในการทำแอนโนดิกออกซิเดชัน เมื่อเพิ่มปริมาณกระแสที่ใช้จาก 7, 11, 16 mA ตามลำดับ (เส้นกราฟที่ 1, 2, 3) ในขณะที่กำหนด Limiting Voltage ไว้ตายตัวที่ค่า 200 V และถ้าเพิ่มการกวนสารละลายจะทำให้เวลาดังกล่าวสั้นลงไปอีก (เส้นกราฟที่ 4) ในขณะเดียวกันแรงดันเริ่มต้น (Initial Voltage) ก็เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับด้วย ฉะนั้นปริมาณแรงดันที่มีผลต่อการสร้างชั้นออกไซด์ (หมายถึงผลต่างระหว่าง Limiting Voltage และ Initial Voltage) จึงมีค่าไม่เท่ากัน และหมายถึงชั้นออกไซด์ที่ได้หนาไม่เท่ากันด้วย อย่างไรก็ตามอัตราการเกิดชั้นออกไซด์จะรวดเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มกระแส เพราะปฏิกิริยาออกซิเดชันถูกเร่งให้เกิดเร็วขึ้นนั่นเอง

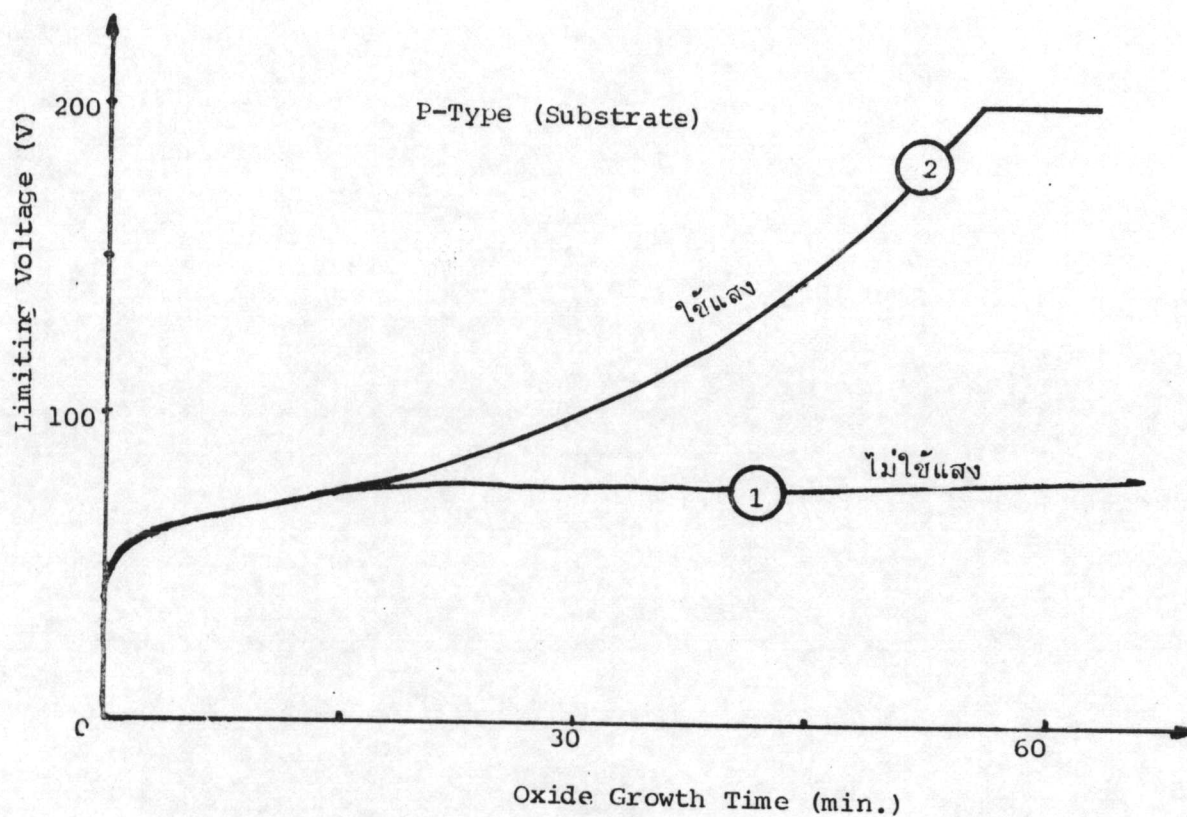


รูปที่ 5.8 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาที่ใช้ในการทำแอนโนดิก ออกซิเดชัน เมื่อใช้กระแสค่าต่างๆ (1,2,3,) และมีการกวนสารละลาย (4) ขณะที่ใช้ Limiting Voltage คงที่ค่า 200 V

สำหรับการสร้างชั้นออกไซด์บนแว่นผลึกแบบพีเป็น Substrate นั้นต้องใช้เวลาทำแอนโนดิกออกซิเดชันนานมาก ดังเส้นกราฟ 1 ในรูปที่ 5.9 แต่เมื่อทดลองฉายแสงด้วยหลอดไฟฟอสเฟต จะพบว่าเวลาที่ใช้สั้นลง ดังเส้นกราฟ 2 แสดงว่า แสงก็สามารถใช้เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีขึ้นเช่นกัน

สำหรับผลการทดลองทำแอนโนดิกออกซิเดชันบนแว่นผลึกซิลิกอนชนิดเอ็น เมื่อไม่มีแสงและมีแสงฉายจะสังเกตเห็นข้อแตกต่างของค่า Initial Voltage ของทั้งสองกรณีอย่างชัดเจน และในกรณีแว่นผลึกซิลิกอนชนิดเอ็นนี้ค่า Initial Voltage จะสูงกว่าของชนิดพีมาก ทั้งนี้เพราะมี Potential ภายในเนื้อซิลิกอนอยู่ที่รอยต่อระหว่างซิลิกอนกับออกไซด์<sup>(3)</sup> แรงดันในระยะเริ่มต้นในการสร้างชั้นออกไซด์จึงตกคร่อม Potential ภายในเนื้อซิลิกอนเป็นส่วนใหญ่ จนกว่าแรงดันจะมีค่าสูงกว่าค่า Initial Voltage นี้ (ซึ่งมีค่าประมาณ 100 V) ชั้นออกไซด์จึงจะเริ่มเกิดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการฉายแสงจะเกิดการสร้างพาหะข้างน้อยขึ้นที่บริเวณผิว จึงทำให้ Potential ภายในเนื้อ





รูปที่ 5.9 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาที่ใช้ในการทำแอนโนดิกออกซิเดชัน เมื่อแวนผลึกแบบพีเป็น Substrate เปรียบเทียบกรณีไม่มีแสง (1) และมีแสง (2)

ซิลิกอนมีค่าต่ำลง ฉะนั้น Initial Voltage จะมีค่าต่ำลงด้วย (ประมาณ 25 V) หรือพูดอีกอย่างหนึ่งว่า การฉายแสงจะทำให้จุดเริ่มต้นของการสร้างชั้นออกไซด์บนแวนผลึกซิลิกอนชนิดเอ็นเกิดได้เร็วขึ้นเอง

ผลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นแอนโนดออกไซด์

ชั้นออกไซด์ที่จะนำมาทดสอบวัดหาค่าความต้านทานจำเพาะนี้ สร้างขึ้นโดยมีเงื่อนไข ดังต่อไปนี้

Limiting Voltage = 150 V

Limiting Current = 7 mA

สีของชั้นออกไซด์ที่ได้ = Dark Violet, Red Violet

ความหนาของชั้นออกไซด์ = 1000 Å

สารละลายที่ใช้ 205 cc.  $C_2H_6O_2$  + 1 gm.  $KNO_3$  + 20 cc.  $H_2O$

นำตัวอย่างดังกล่าวมาแบ่งเป็น 2 ส่วน แล้วทำขั้วโลหะให้มีรูปร่างดังรูปที่ 4.10 จากนั้น จึง Anneal เป็นเวลา 15 นาที และ 30 นาที ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 1 (annealing 15 นาที) มีค่าความต้านทานจำเพาะเท่ากับ  $3 \times 10^{10}$  Ω-cm

ตัวอย่างที่ 2 (annealing 30 นาที) มีค่าความต้านทานจำเพาะเท่ากับ  $1.5 \times 10^{10}$  Ω-cm

ค่าความต้านทานจำเพาะทั้งสองอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 2.1 อยู่ 2 Order คุณสมบัติของฉนวนไฟฟ้าของชั้นแอนโนดออกไซด์ จึงไม่ดีเท่า Thermal Oxide และไม่พบลักษณะของการเกิด Break Down ทางไฟฟ้าเลย จึงสรุปได้ว่าชั้นแอนโนดออกไซด์นี้ไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องอาศัยคุณสมบัติทางฉนวนไฟฟ้า คุณภาพทางไฟฟ้าของชั้นแอนโนดออกไซด์ที่ไม่ดีนั้น อาจเนื่องมาจากปริมาณฮีทอนที่อาจหลงเหลืออยู่หลังเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว ดังสังเกตได้จากฟองก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเมื่อ Etch ในน้ำยากัดออกไซด์ (Buffered HF) ซึ่งแตกต่างไปจากการ Etch ชั้นออกไซด์ที่ทำโดยวิธี Thermal Oxidation เพราะในกรณีหลังนี้ไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้นเลย

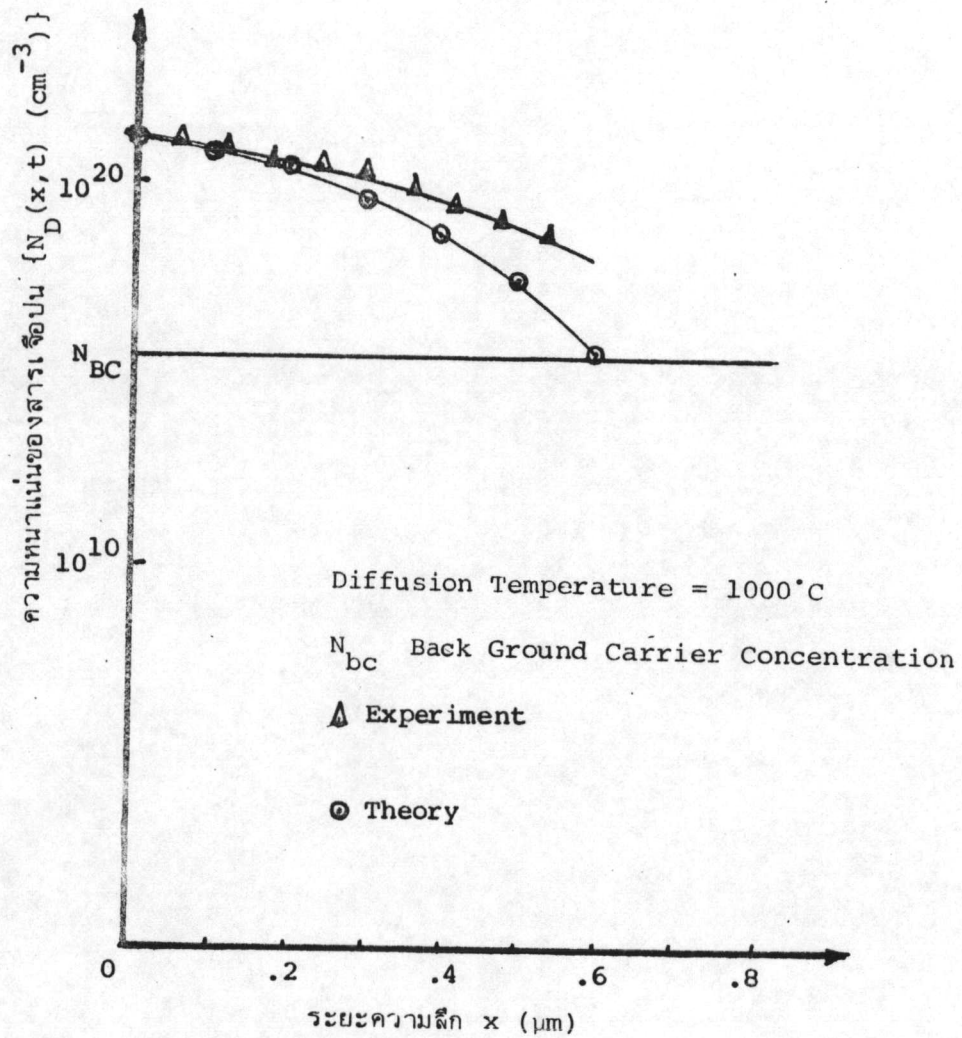
### ผลการหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์

การทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์นี้ ใช้แวนผลึกฐานรองเป็นชนิด ที่ทำการแพร่ซึมด้วยอะตอมของฟอสฟอรัส โดยใช้อุณหภูมิในการแพร่ซึม  $1000^{\circ}\text{C}$  ผลการหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ในค่า  $N_D(x,t)$  ซึ่งอยู่ในฟังก์ชันของเวลา ( $t$ ) และระยะความลึก ( $x$ ) มีดังต่อไปนี้

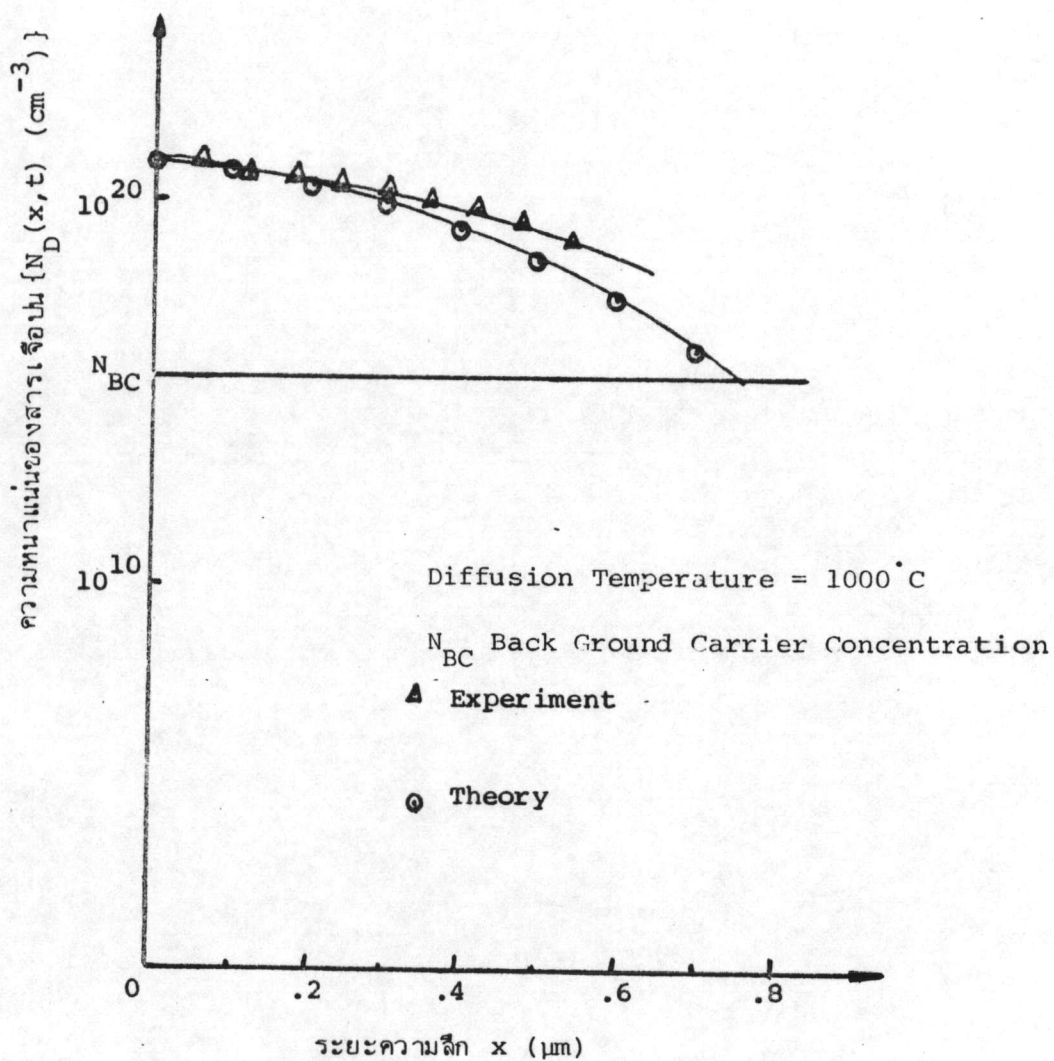
### เปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณทางทฤษฎี

รูปที่ 5.10, 5.11, 5.12 เป็นผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ที่ใช้เทคนิคการลอกชั้นแอนโนติคออกซิเดชัน โดยเปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี<sup>(15)</sup> เงื่อนไขการสร้างชั้นแพร่ซึมของตัวอย่างทั้งสามคือ Predeposition 10 นาที Predeposition 15 นาที และ Predeposition 10 นาที + Drive-in 30 นาที ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่าผลการทดลองนั้นให้โปรไฟล์ของค่าความหนาแน่นสารเจือปนสูงกว่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี เมื่อกำหนดให้ความหนาแน่นของพาหะที่ผิวมีค่าเท่ากันทั้งสองกรณี เนื่องจากความลึกของรอยต่อของหัวต่อพี-เอ็น มีค่าน้อย<sup>(16)</sup> เกิด Field-Aided Diffusion<sup>(16)</sup> และในการคำนวณทางทฤษฎีใช้ค่า Diffusivity เป็นค่าคงที่<sup>(12,16)</sup> (ค่า Diffusivity ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นสารเจือปน)

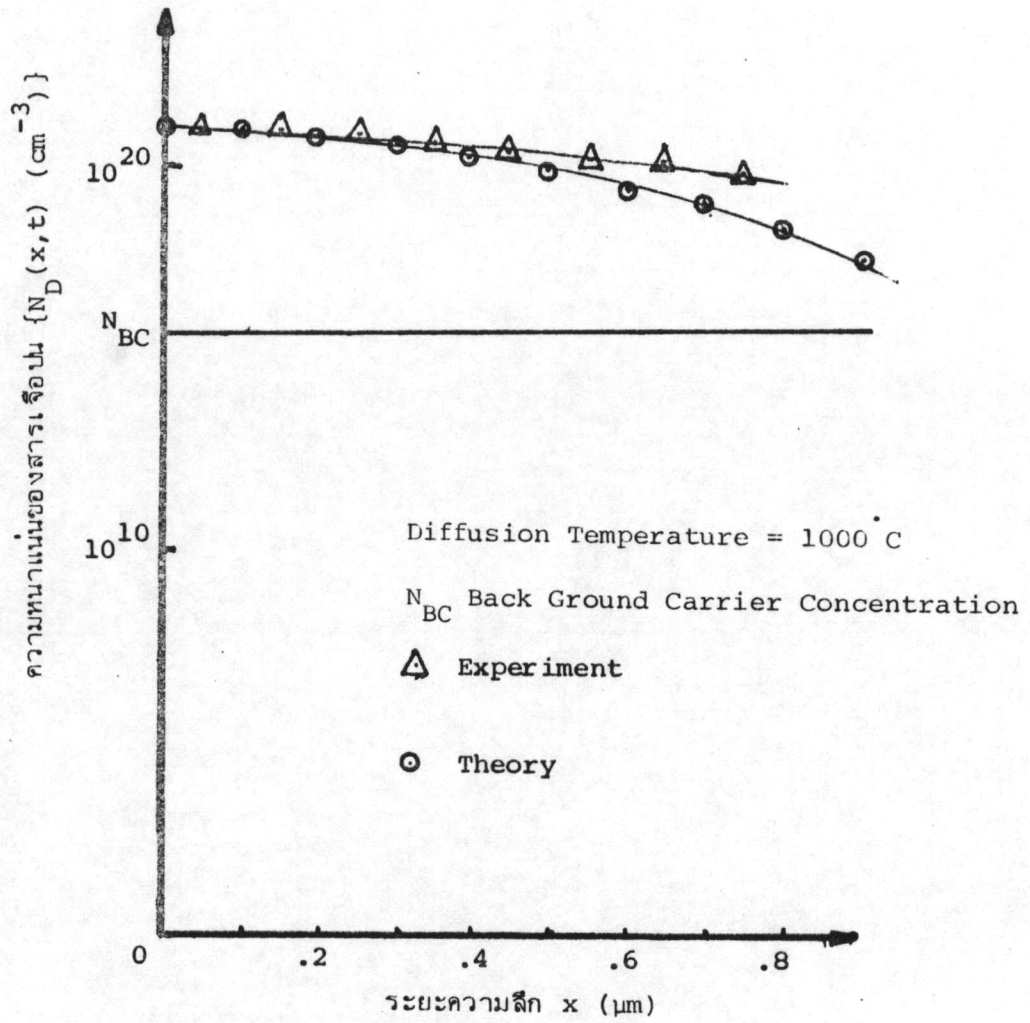




รูปที่ 5.10 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ โดยใช้เทคนิคการลอกชั้นแอนโนดิก ออกไซด์ เปรียบเทียบชั้นการแพร่ซึมในขั้นตอน Predeposition 10 นาที กับทางทฤษฎี



รูปที่ 5.11 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ โดยใช้เทคนิคการลอกชั้นแอนโนดิก ออกไซด์ เปรียบเทียบชั้นการแพร่ซึมในขั้นตอน Predeposition 15 นาที กับทางทฤษฎี

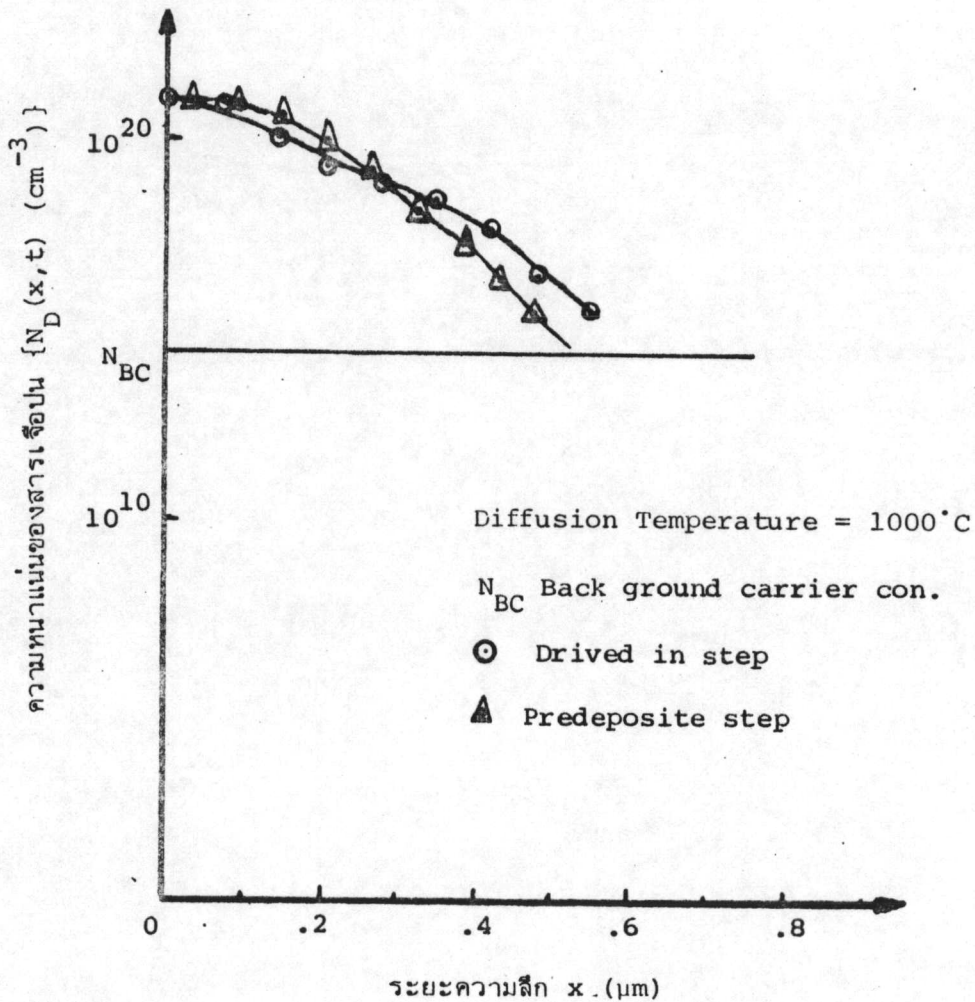


รูปที่ 5.12 ผลการหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ โดยใช้เทคนิคการลอกชั้นแอนโนดออกไซด์  
เปรียบเทียบชั้นการแพร่ซึมในชั้นตอน Predeposition 10 นาที +  
Drive-in 30 นาที กัมทางทฤษฎี



## 2. อิมเพียวริตีโพรไฟล์ที่ได้จากกระบวนการแพร่ซึมแบบต่างๆ

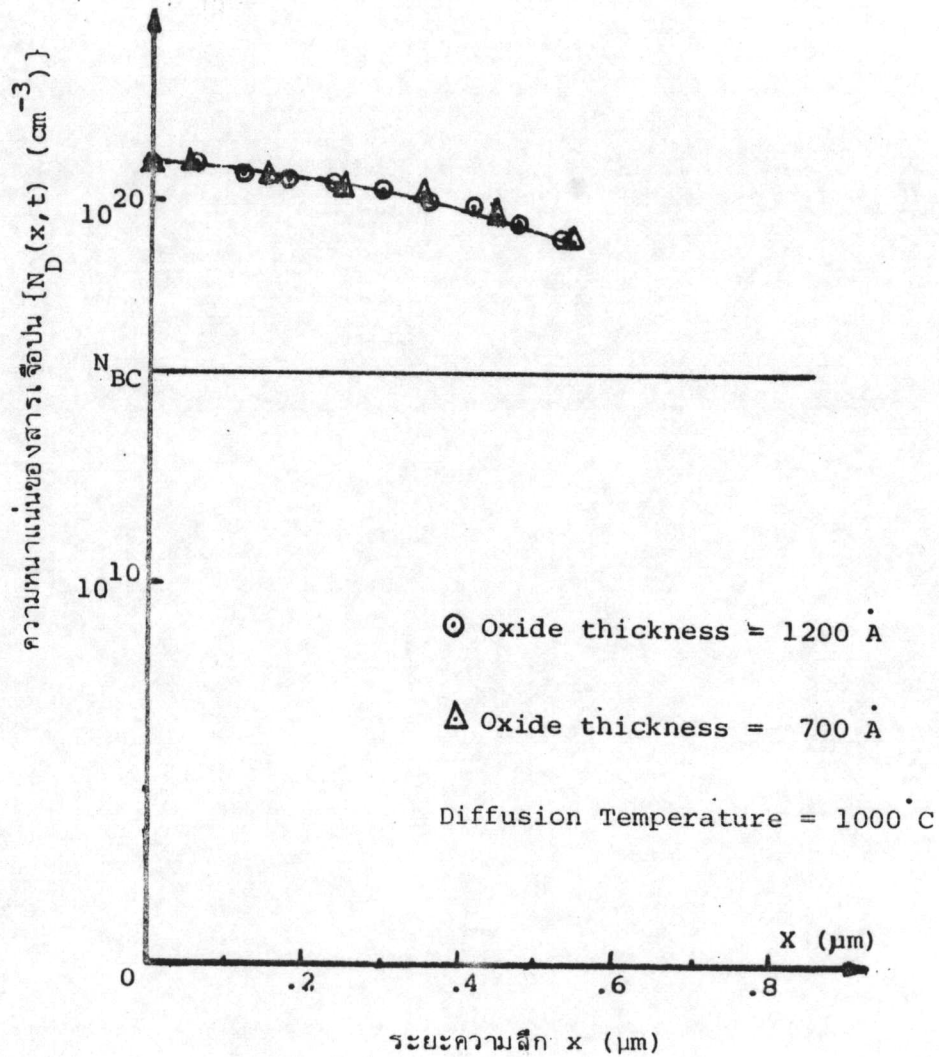
กระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนแบ่งเป็นขั้นตอนหลัก 2 แบบคือ Predeposition และ Drive-in ซึ่งจะให้อิมเพียวริตีโพรไฟล์ต่างกัน ดังรูปที่ 5.13 แสดงถึงผลการทดลองเมื่อใช้ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการแพร่ซึมแบบ Predeposition อย่างเดียว เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ทำทั้งแบบ Predeposition + Drive-in จะเห็นว่า ความลึกของหัวต่อของตัวอย่างที่ทำโดยวิธีหลังมีค่าสูงขึ้นตามความคาดหมาย



รูปที่ 5.13 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโพรไฟล์ เปรียบเทียบการแพร่ซึมสารเจือปนในขั้นตอน Predeposition 10 นาที กับ Predeposition 10 นาที + Drive-in 30 นาที

3. อิมแพียวริตีโพรไฟล์ที่วัดโดยการลอกชั้นแอนโนดออกไซด์หนาไม่เท่ากัน

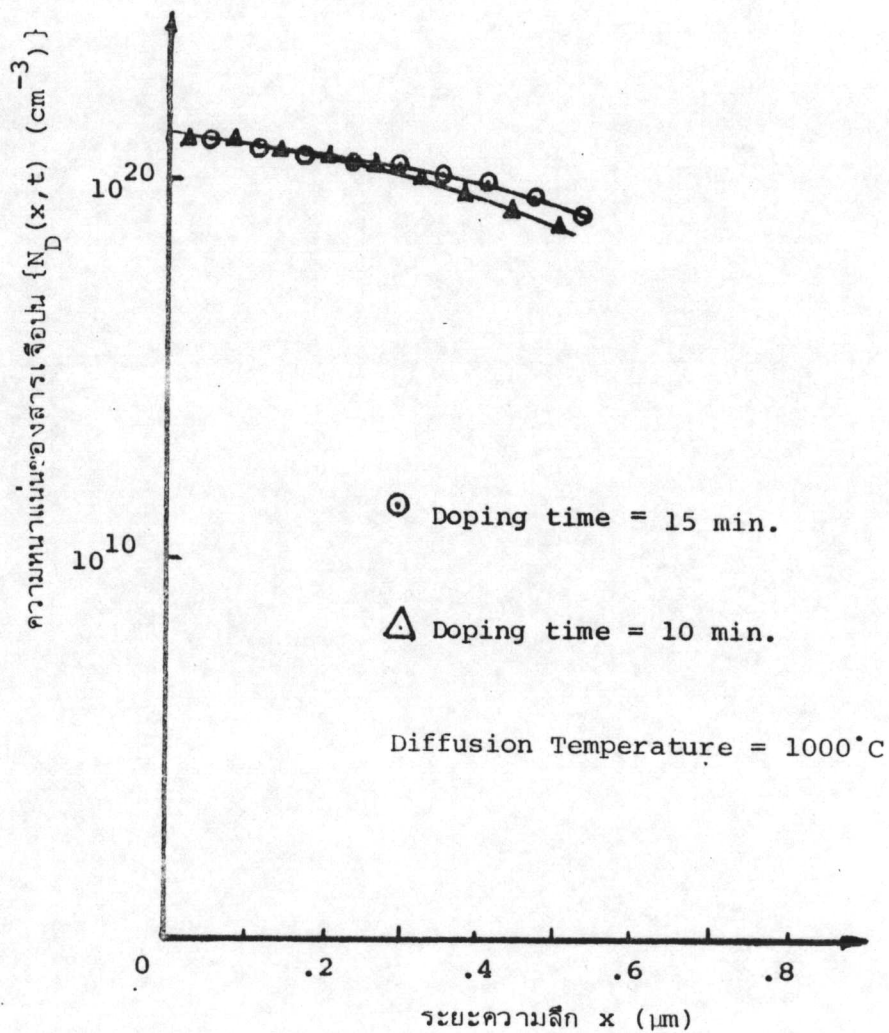
การลอกชั้นออกไซด์ที่ทำโดยวิธีแอนโนดออกไซด์ออกซิเดชัน แล้ววัดหาอิมแพียวริตีโพรไฟล์นั้น ถ้าลอกชั้นดังกล่าวหนาบางต่างกัน (หมายถึงช่วงเวลาที่ใช้ไม่เท่ากันนั่นเอง) แต่จากการทดลองลอกชั้นออกไซด์ที่ละ 1200 Å และ 700 Å พบว่าผลที่ได้ไม่แตกต่างกันแต่อย่างใด ดังปรากฏในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 ผลการทดลองหาอิมแพียวริตีโพรไฟล์ โดยการลอกชั้นออกไซด์ของตัวอย่าง แวนผลึกต่างกัน

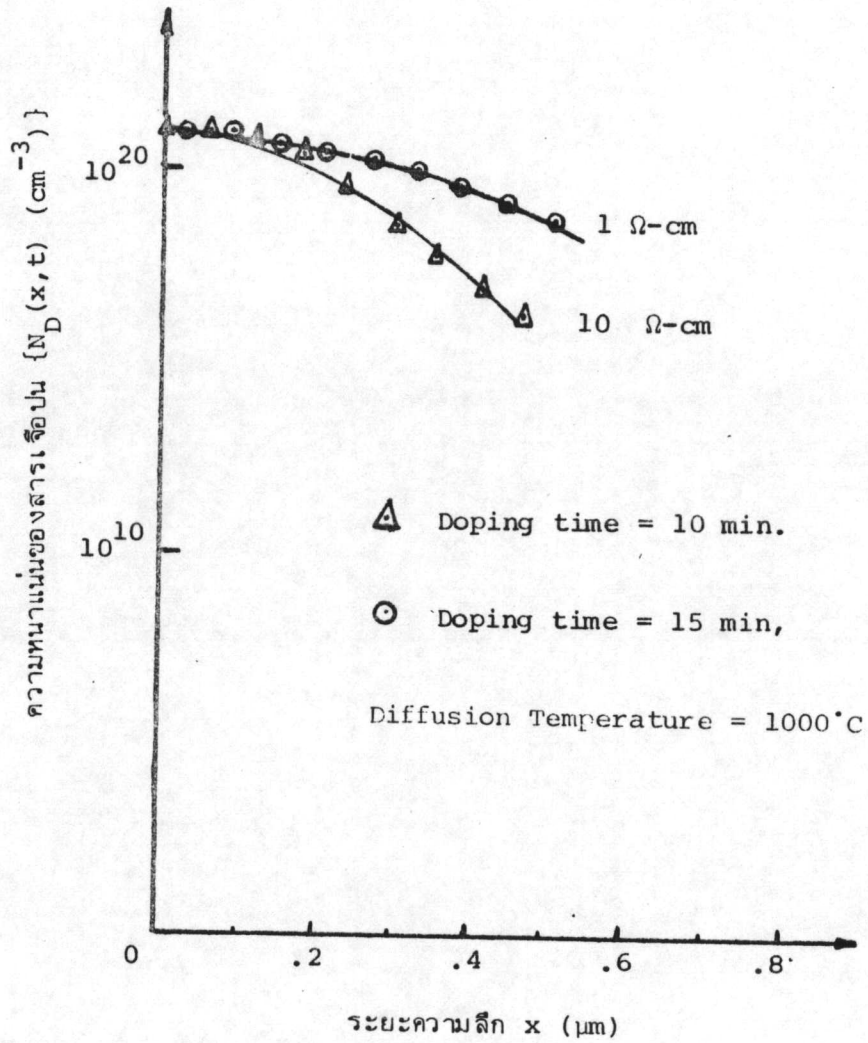
4. อิมแพียวริตีโพรไฟล์ที่ได้เมื่อใช้เวลาในการแพร่ซึมต่างกัน

เมื่อเวลาที่ใช้ในการแพร่ซึมนานขึ้น ความหนาแน่นของสารเจือปนจะมากขึ้น ดังรูปที่ 5.15 ซึ่งเป็นกรณีที่ใช้แวนต์สลีกเริ่มต้นที่มีค่าความต้านทานจำเพาะเดียวกัน และหากใช้ตัวอย่างที่มีค่าความต้านทานจำเพาะแตกต่างกันแล้ว ค่าความลึกก็ย่อมแตกต่างกันมากขึ้นไปอีก ดังแสดงในรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.15 ผลการทดลองหาอิมแพียวริตีโพรไฟล์ ของชั้นการแพร่ซึมที่ใช้เวลาในการแพร่ซึมแตกต่างกัน บนแวนต์สลีกที่มีความต้านทานจำเพาะเท่ากัน





รูปที่ 5.16 ผลการทดลองหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ ของชั้นการแพร่ซึมที่ใช้เวลาและความต้านทานจำเพาะของแวนผลึกแตกต่างกัน

5. การทดลองนำชั้นแอนโนดออกไซด์มาใช้ เป็นหน้ากักกันการแพร่ซึมของสารเจือปน

ระยะความลึก x (μm)	ความหนาแน่นสารเจือปน, $N_D(x,t)$ ( $\text{cm}^{-3}$ )	
	Anodic Oxide	Thermal Oxide
0	$3 \times 10^{19}$	$1 \times 10^{18}$
0.5	$1 \times 10^{18}$	$1 \times 10^{17}$

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความหนาแน่นสารเจือปนที่ระดับความลึกจากผิวต่างๆกัน ในการหาอิมแพียวริตีโปรไฟล์ เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของสารเจือปนผ่านชั้นแอนโนดออกไซด์และ Thermal Oxide ที่ความหนา 1000 Å

จุดประสงค์อันหนึ่งของการทำชั้นออกไซด์ก็เพื่อใช้เป็นหน้ากักกันการแพร่ซึมของสารเจือปน ในกระบวนการผลิตสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ด้วยเทคโนโลยีแบบพลาสมา ฉะนั้น เราจึงสนใจว่าชั้นแอนโนดออกไซด์จะมีคุณภาพดีเพียงพอการใช้งานในลักษณะเช่นนี้ จึงได้ดำเนินการทดลองและวัดหาผลดังกล่าว ซึ่งพบว่าชั้นแอนโนดออกไซด์ก็สามารถทำหน้าที่ดังกล่าวได้ทำนองเดียวกันกับ ชั้นออกไซด์ที่ทำจากวิธี Thermal Oxidation แต่มีความสามารถสกัดกั้นการแพร่ซึมได้ไม่ด้อยเท่ากับแบบหลัง สำหรับผลการหาอิมแพียวริตีโปรไฟล์ เปรียบเทียบกันแสดงดังตารางที่ 5.3