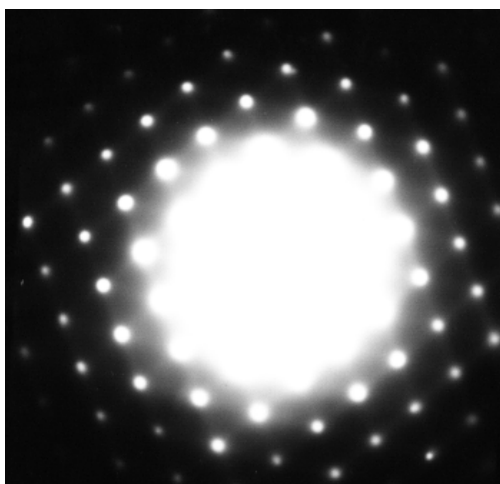


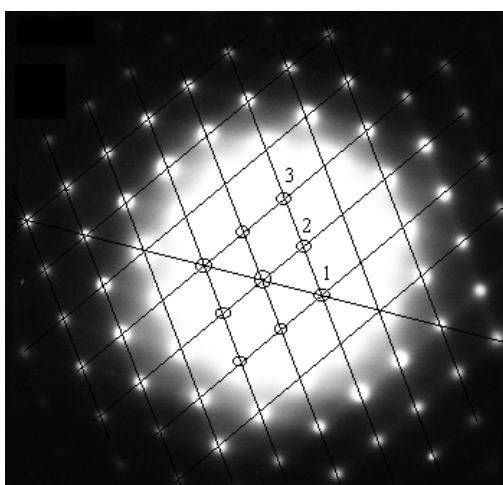
### ภาคผนวก (ก)

#### ภาพถ่ายดิฟเฟรคชันของซิลิกอน และการคำนวณหาระนาบ



ภาพประกอบที่ 1 ภาพถ่ายดิฟเฟรคชันของซิลิกอนที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่านที่ 200 kV ความยาวของกล้อง 80 เซนติเมตร

สามารถลากเส้นเพื่อหาจุดดิฟเฟรคชันบริเวณตรงกลางได้ดังภาพประกอบที่ 2



ภาพประกอบที่ 2 แสดงการลากเส้นเพื่อหาจุดดิฟเฟรคชัน

จากสมการ 2.16

$$Rd_{hkl} = \lambda L$$

สำหรับแรงดันเร่งอิเล็กตรอน 200 kV ให้ความยาวคลื่นอิเล็กตรอนยาว 0.00251 นาโนเมตร

และ

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

สำหรับซิลิกอนที่มีค่าคงที่แลตทิซ (a : lattice constant) เท่ากับ 5.42 (25°C)

หาค่า  $d_{hkl}$  ที่จุดต่าง ๆ ในภาพประกอบที่ 2

จุดที่ 1 ระยะระหว่างจุด 7.38 มิลลิเมตร

$$d_{hkl} = \frac{\lambda L}{R} = \frac{0.00251 \times 10^{-9} \times 80 \times 10^{-2}}{7.38 \times 10^{-3}} = 2.721 \text{ \AA} = d_{002}$$

จุดที่ 2 ระยะระหว่างจุด 6.33 มิลลิเมตร

$$d_{hkl} = 3.177 \text{ \AA} = d_{111}$$

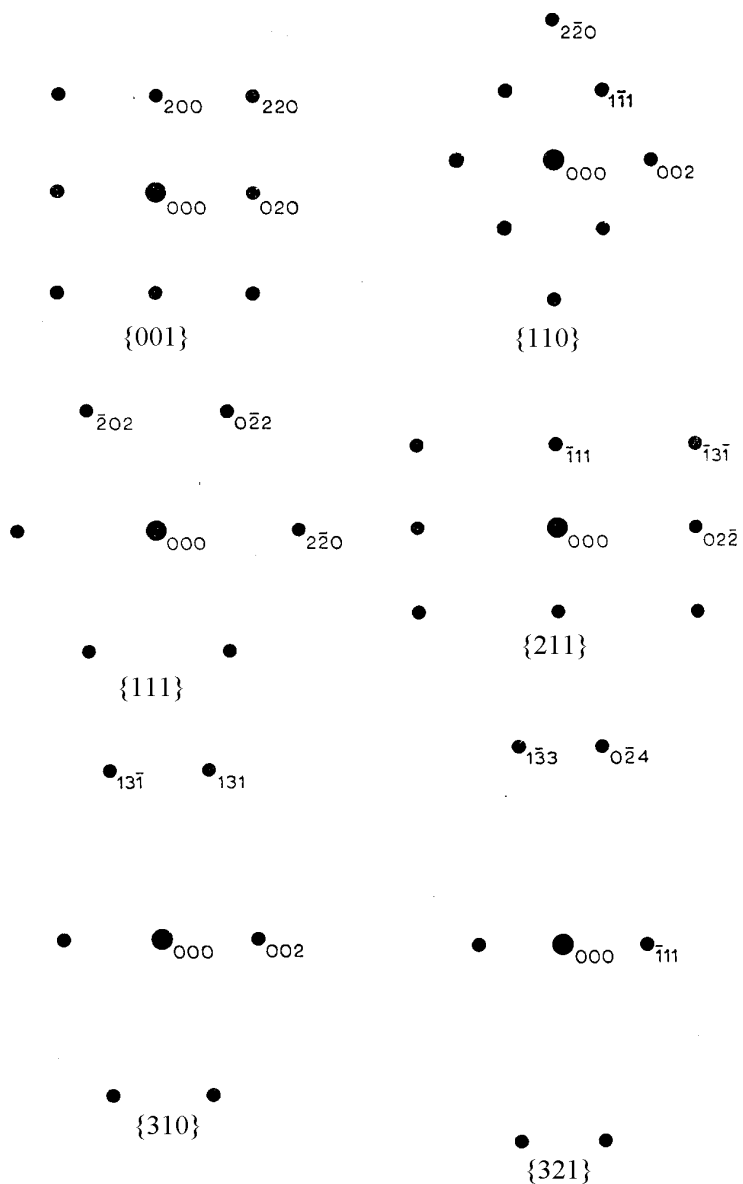
จุดที่ 2 ระยะระหว่างจุด 10.54 มิลลิเมตร

$$d_{hkl} = 1.905 \text{ \AA} = d_{220}$$

เปรียบเทียบค่าที่ได้กับรูปแบบของแลตทิซส่วนกลับในภาคผนวก ข ซึ่งตรงกับโครงสร้างของโครงผลึกลูกบาศก์แบบเฟสเซนเตอร์ (face-center-cubic : fcc) ระนาบ {110}

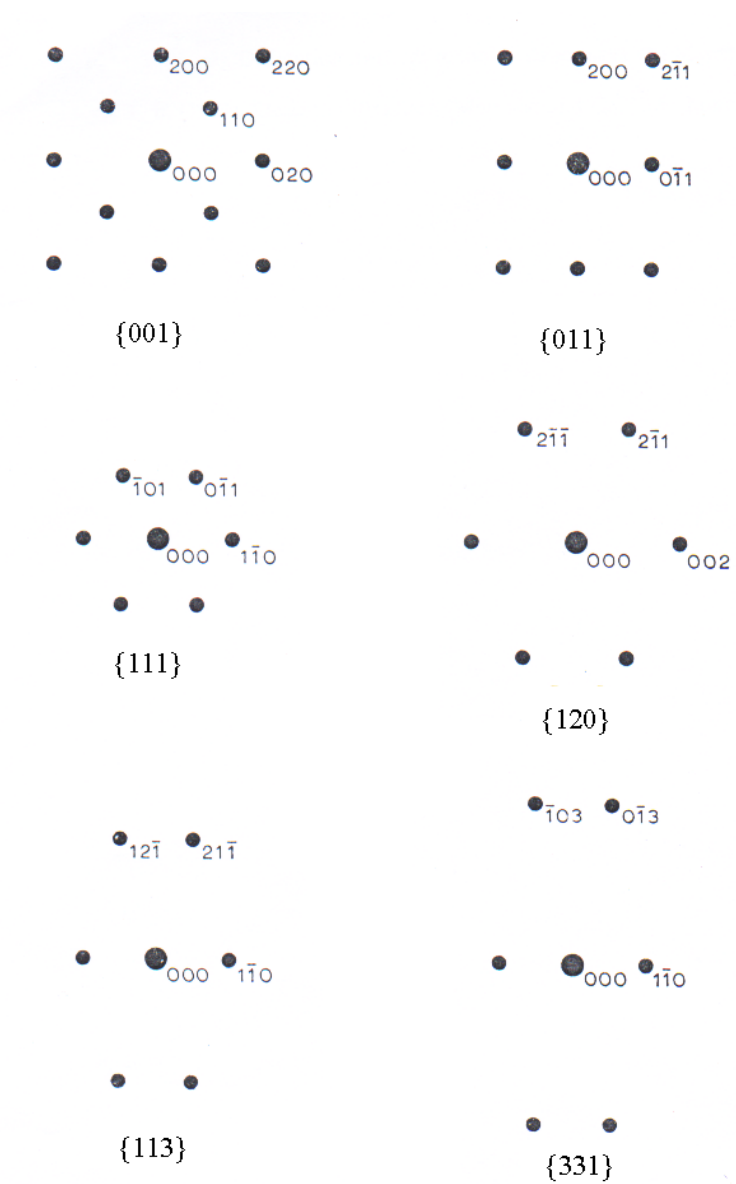
## ภาคผนวก (ข)

## รูปแบบของแลตทิซส่วนกลับ (reciprocal lattice)



ภาพประกอบที่ 3 โครงผลึกลูกบาศก์แบบเฟสเซนเตอร์ (face-center cubic : fcc)

(Andrews, 1981)



ภาพประกอบที่ 4 โครงผลึกลูกบาศก์แบบบอดีเซนเตอร์ (body-center cubic : bcc)

(Andrews, 1981)

## ภาคผนวก (ค)

## การคำนวณในการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า

คำนวณค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ ของตัวอย่าง  $3 \times 10^{17}$  ไอออนต่อตารางเซนติเมตร ตามวิธีการในหัวข้อที่ 3.2.2 บทที่ 3 ดังนี้

ข้อ 3.2.2.3 คำนวณค่าความจุไฟฟ้าสูงสุด  $C_{ox}$  จากสมการ (2.18)

$$C_{ox} = \frac{A \varepsilon_{ox}}{t_{ox}}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดของเกตอะลูมิเนียม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 เซนติเมตร}$$

$$= \pi r^2 = \pi (0.1)^2 = 0.031416 \text{ cm}^2$$

$$\varepsilon_{ox} = 3.9 \times 8.854 \times 10^{-14} = 34.5306 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$$

สำหรับตัวอย่างไม่มีชั้นป้องกันผิว  $t_{ox} = 75$  นาโนเมตร (nm)  $= 75 \times 10^{-7}$  เซนติเมตร (cm)

$$C_{ox} = \frac{34.5306 \times 10^{-14} \text{ F/cm} \times 0.031416 \text{ cm}^2}{75 \times 10^{-7} \text{ cm}} = 1450 \text{ พิโคฟารัด (pF)}$$

สำหรับตัวอย่างมีชั้นป้องกันผิว  $t_{ox} = 72$  นาโนเมตร (nm)  $= 72 \times 10^{-7}$  เซนติเมตร (cm)

$$C_{ox} = \frac{34.5306 \times 10^{-14} \text{ F/cm} \times 0.031416 \text{ cm}^2}{72 \times 10^{-7} \text{ cm}} = 1507 \text{ พิโคฟารัด (pF)}$$

คำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าของชั้นปลอดพาหะ  $C_d$  จากสมการ (2.21)

$$C_d = \frac{\sqrt{2} \varepsilon_s}{L_D} = \frac{\sqrt{2} \varepsilon_s}{\sqrt{\frac{2kT \varepsilon_s}{q^2 N_D}}} = \frac{\sqrt{2} \varepsilon_s}{\sqrt{\frac{2kT}{q} \cdot \frac{\varepsilon_s}{q N_D}}}$$

$$\text{เมื่อ } \frac{kT}{q} = 0.0259$$

$$\varepsilon_s = 11.7 \times 8.854 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$$

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้ากับความเข้มข้นสารเจือของซิลิกอนในภาพประกอบที่ 2.16 เมื่อสภาพต้านทานไฟฟ้า  $\rho = 10\Omega - cm$  และเป็นซิลิกอนชนิดพีจะได้

$$N_D = 10^{15} cm^{-3}$$

$$C_d = \sqrt{2}\epsilon_s \times \frac{\sqrt{qN_D}}{\sqrt{\frac{2kT}{q} \times \epsilon_s}}$$

$$C_d = \sqrt{2} \times 11.7 \times 8.854 \times 10^{-14} \times \frac{\sqrt{1.602 \times 10^{-19} \times 10^{15}}}{\sqrt{2 \times 0.0259 \times 11.7 \times 8.854 \times 10^{-14}}} = 8.0047 \times 10^{-8} F/cm^2$$

$$C_d = 8.0047 \times 10^{-8} F/cm^2 \times 0.031416 cm^2 = 2515 \text{ พิโคฟารัด (pF)}$$

คำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าที่สภาวะแถบราบ  $C_{FB}$  จากสมการ (2.19)

$$C_{FB} = \frac{C_{ox}C_d}{C_{ox} + C_d}$$

สำหรับตัวอย่างไม่มีชั้นป้องกันผิว  $C_{FB} = \frac{1450 \times 2515}{1450 + 2515} = 919.73 \text{ พิโคฟารัด (pF)}$

สำหรับตัวอย่างมีชั้นป้องกันผิว  $C_{FB} = \frac{1507 \times 2515}{1507 + 2515} = 942.34 \text{ พิโคฟารัด (pF)}$

ข้อ 3.2.2.4 จากกราฟในภาพประกอบที่ 4.16 หาค่า แรงดันไฟฟ้าแถบราบ  $V_{FB}$

ตัวอย่างที่ไม่มีชั้นป้องกันผิว  $V_{FB} = -2.30V$

ตัวอย่างที่มีชั้นป้องกันผิว  $V_{FB} = -1.35V$

ข้อ 3.2.2.5 หาค่าความจุไฟฟ้าระหว่างผิวและในชั้นออกไซด์  $Q_{ox}$  จากสมการ (2.26)

$$V_{FB} = \Phi_{ms} - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}}$$

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของฟังก์ชันงาน  $\Phi_{ms}$  กับความเข้มข้นสารเจือปนในซิลิกอน  $N_D$  ในภาพประกอบที่ 2.18 เมื่อ  $N_D = 10^{15} cm^{-3}$  และเป็นซิลิกอนชนิดพีจะได้ค่า

$$\Phi_{ms} = -0.85V$$

สำหรับตัวอย่างไม่มีชั้นป้องกันผิว  $C_{ox} = 1450 pF$

$$C_{ox} = \frac{1450 pF}{0.031416 cm^2} = 4.615 \times 10^{-8} F/cm^2$$

จาก

$$V_{FB} = \Phi_{ms} - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}}$$

$$-2.30 = -0.85 - \frac{Q_{ox}}{4.615 \times 10^{-8}}$$

ดังนั้น  $Q_{ox} = 6.692 \times 10^{-8} C/cm^2 = \frac{6.692 \times 10^{-8}}{1.602 \times 10^{-19}} = 4.18 \times 10^{11} cm^{-2}$

สำหรับตัวอย่างที่มีชั้นป้องกันผิว  $C_{ox} = 1507 pF$

$$C_{ox} = \frac{1507 pF}{0.031416 cm^2} = 4.7969 \times 10^{-8} F/cm^2$$

$$-1.35 = -0.85 - \frac{Q_{ox}}{4.7969 \times 10^{-8}}$$

ดังนั้น  $Q_{ox} = 2.398 \times 10^{-8} C/cm^2 = \frac{2.398 \times 10^{-8}}{1.602 \times 10^{-19}} = 1.50 \times 10^{11} cm^{-2}$