



## บทที่ 4

## ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

## 4.1 การทำออกซิเดชันด้วยความร้อน (Thermal oxidation)

การทำออกซิเดชันด้วยความร้อน เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อการปลุกขึ้นซิลิกอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมการผลิตวางจรรวมอย่างมาก ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.1 การทำออกซิเดชันด้วยความร้อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

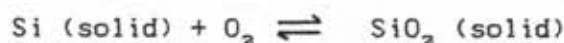
1. การทำออกซิเดชันด้วยความร้อนแบบแห้ง (Dry thermal oxidation หรือ Dry oxidation) เป็นการทำออกซิเดชันโดยการนำแผ่นผลึกเข้าไปในเตาอุณหภูมิสูง ซึ่งทำด้วย fused quartz ในบรรยากาศที่ประกอบด้วย ออกซิเจนแห้ง และก๊าซเฉื่อย ( $N_2$ ) ความดัน 1 บรรยากาศ ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากการทำออกซิเดชันแบบนี้จะมีสมบัติทางไฟฟ้าดีมาก

2. การทำออกซิเดชันด้วยความร้อนแบบเปียก (Wet thermal oxidation หรือ Wet oxidation) เป็นการทำออกซิเดชันลักษณะเดียวกับการทำออกซิเดชันด้วยความร้อนแบบแห้ง แต่ทำในบรรยากาศซึ่งก๊าซออกซิเจนที่ไหลเข้าสู่เตาต้องไหลผ่านน้ำ (Bubble) ที่มีอุณหภูมิประมาณ  $97^\circ C$  ก่อน และยังคงมีก๊าซเฉื่อย ( $N_2$ ) เป็นก๊าซพาเช่นกัน ความเร็วของการปลุกขึ้นซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยวิธีนี้จะเร็วกว่าแบบแรก แต่สมบัติทางไฟฟ้าของซิลิกอนไดออกไซด์จะสู้แบบแรกไม่ได้

3. การทำออกซิเดชันด้วยความร้อนด้วยไอน้ำ (Steam oxidation) เป็นการทำออกซิเดชันลักษณะเดียวกับการทำออกซิเดชันด้วยความร้อนแบบเปียก แต่อุณหภูมิที่ใช้จะต่ำกว่าสองแบบแรก และต้องใช้เตาแบบพิเศษ เพราะเนื่องจากความดันของไอน้ำภายในเตามีค่าสูง กระบวนการนี้เหมาะกับการปลุกขึ้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีความหนาเป็นพิเศษ เพราะความเร็วในการปลุกขึ้นซิลิกอนไดออกไซด์สูงมาก

ในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการทำออกซิเดชันด้วยความร้อนแบบแห้งและแบบเปียกเท่านั้น ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำออกซิเดชันด้วยความร้อน ภายใต้ความดัน 1

บรรยากาศ และในช่วงอุณหภูมิ 900–1200 °C คือ

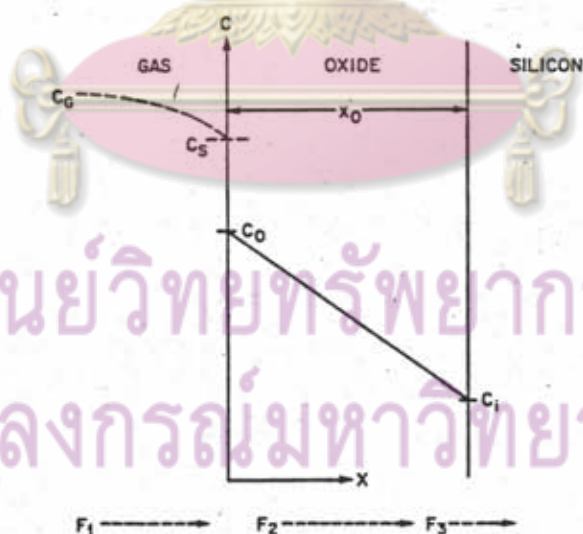


สำหรับการทำออกซิเดชันด้วยความร้อนแบบแห้ง และ



สำหรับการทำออกซิเดชันด้วยความร้อนแบบเปียก

ลักษณะการเกิดขึ้นซิลิกอนไดออกไซด์ได้ถูกอธิบายโดย Deal และ Grove (43) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งสามารถใช้อธิบายการเกิดขึ้นซิลิกอนไดออกไซด์ในทางปฏิบัติ ซึ่งมีความหนาของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์มากกว่า 300 Å และอุณหภูมิในการทำออกซิเดชันสูงกว่า 800 °C ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 4.1 ภาพตัดขวางของซิลิกอนและซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งอธิบายลักษณะการเกิดขึ้นซิลิกอนไดออกไซด์ในการทำออกซิเดชันด้วยความร้อน

ถ้าความหนาของซิลิกอนไดออกไซด์ก่อนการทำออกซิเดชันเป็น  $x_0$  เมื่อทำออกซิเดชัน Oxidizing species จะมีการเคลื่อนที่ 3 ขั้นตอน คือ

1. การเคลื่อนที่จากบรรยากาศผ่านรอยต่อระหว่างก๊าซและออกไซด์ (gas-oxide interface) ด้วย ฟลักซ์  $F_1$  (จำนวนอะตอมหรือโมเลกุลที่ข้ามรอยต่อในหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา)
2. การเคลื่อนที่ผ่านชั้นซิลิกอนไดออกไซด์เข้าหารอยต่อระหว่างซิลิกอน และซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยฟลักซ์  $F_2$
3. การทำปฏิกิริยากับซิลิกอนที่บริเวณรอยต่อระหว่างซิลิกอนและซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยฟลักซ์  $F_3$

ฟลักซ์  $F_1$  จะแปรผันตรงกับความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ Oxidant ในสภาวะสมดุลภายในซิลิกอนไดออกไซด์ ( $C^*$ ) กับความเข้มข้นของ Oxidant ที่บริเวณผิวของซิลิกอนไดออกไซด์ ( $C_0$ ) ในขณะนั้น

$$F_1 = h (C^* - C_0) \quad (4.1)$$

$$C^* = kP_G \quad (\text{กฎของ Henry}) \quad (4.2)$$

โดยที่  $h$  คือ gas phase transport coefficient (cm/sec)

$P_G$  คือ ความดันย่อย (Partial pressure) ของ Oxidant

$k$  คือ Henry's law constant

ฟลักซ์  $F_2$  จะเป็นไปตามกฎของ Fick

$$F_2 = -D \frac{dC}{dx} \quad (4.3)$$

ในสภาวะคงตัว  $F_2$  จะมีค่าคงที่ตลอดช่วงความหนา  $x_0$  ดังนั้นจะได้

$$F_2 = \frac{D(C_o - C_i)}{x_o} \quad (4.4)$$

โดยที่  $C_i$  คือ ความเข้มข้นของ Oxidant ที่รอยต่อระหว่างซิลิกอนและซิลิกอนไดออกไซด์  
 $D$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของ Oxidant

ฟลักซ์  $F_3$  จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของ Oxidant ที่รอยต่อซิลิกอนและซิลิกอนไดออกไซด์ ( $C_i$ )

$$F_3 = k_s C_i \quad (4.5)$$

โดยที่  $k_s$  คือ chemical surface-reaction rate constant (cm/sec)

ในสภาวะคงตัวฟลักซ์ทั้งสามตัวจะมีค่าเท่ากัน ซึ่งทำให้หาค่าของความเข้มข้นของ Oxidant ที่บริเวณผิวของซิลิกอนไดออกไซด์ ( $C_o$ ) และความเข้มข้นของ Oxidant ที่รอยต่อระหว่างซิลิกอนและซิลิกอนไดออกไซด์ ( $C_i$ ) ได้จากความสัมพันธ์  $F_1 = F_2$  และ  $F_2 = F_3$

$$C_i = \frac{C^*}{1 + \frac{k_s}{h} + \frac{k_s x_o}{D}} \quad (4.6)$$

$$C_o = \frac{(1 + \frac{k_s x_o}{D}) C^*}{1 + \frac{k_s}{h} + \frac{k_s x_o}{D}} \quad (4.7)$$

พิจารณาฟลักซ์  $F_3$  ที่บริเวณรอยต่อซิลิกอนและซิลิกอนไดออกไซด์

$$N_I \frac{dx_o}{dt} = F_3 = \frac{k_s C^*}{1 + \frac{k_s}{h} + \frac{k_s x_o}{D}} \quad (4.8)$$

โดยที่  $N_I$  คือ จำนวนอะตอมหรือโมเลกุลของ Oxidant ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของออกไซด์

จากสมการที่ (4.8) ใช้ Boundary condition

$$x_0 = x_1 \quad \text{ที่ } t = 0 \quad (4.9)$$

จะได้คำตอบของสมการที่ (4.8) เป็น

$$x_0^2 + Ax_0 = B(t + \tau) \quad (4.10)$$

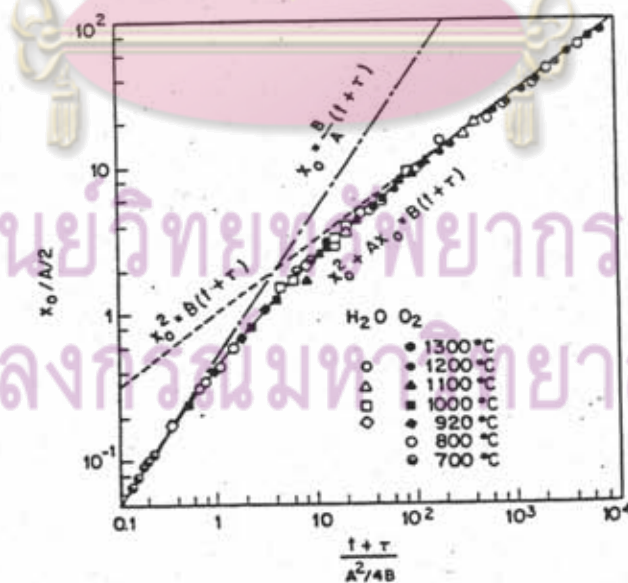
โดยที่

$$A = 2D(k_s^{-1} + h^{-1}) \quad (\text{cm})$$

$$B = 2DC^*N_I^{-1} \quad (\text{cm}^2/\text{sec})$$

$$T = \frac{x_1^2 + Ax_1}{B}$$

T คือเวลาในการปลูกชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ซึ่งเลื่อนไปเนื่องจากความหนาของซิลิกอนไดออกไซด์เริ่มต้น  $x_1$  จากสมการที่ (4.10) จะหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์และเวลาที่ใช้ได้ดังสมการที่ (4.11) และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ทั่ว ๆ ไป สำหรับออกซิเดชันด้วยความร้อนของซิลิกอน (43)

$$\frac{x_o}{A/2} = \left(1 + \frac{t + \tau}{A^2/4B}\right)^{1/2} - 1 \quad (4.11)$$

ในสมการที่ (4.10) และ (4.11) ค่า A จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่ไม่ขึ้นกับความดันย่อยของ Oxidant สำหรับค่า B จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันย่อยของ Oxidant ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ ( $x_o$ ) และเวลาที่ใช้ทำออกซิเดชันแสดงดังในรูปที่ 4.5

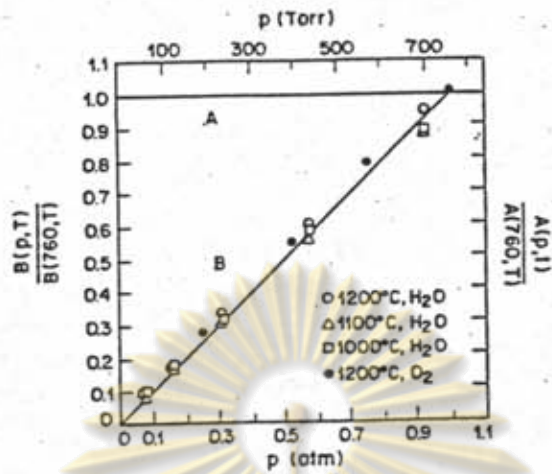
#### 4.2 การแพร่ซึม (Diffusion)

กระบวนการแพร่ซึมเป็นกระบวนการซึ่งใช้ในการควบคุมชนิดและความเข้มข้นของสารเจือปนในบริเวณไดบริเวหนึ่งที่กำหนดของแวนผลึก การแพร่ซึมนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การแพร่ซึมฝาก (Predeposition) เป็นการนำสารเจือปนที่ต้องการแพร่ซึมใส่เข้าไปในเนื้อสารกึ่งตัวนำ และการแพร่ซึมลึก (Drive-in diffusion) เป็นการแพร่ซึมสารเจือปนซึ่งถูกใส่เข้ามายังสารกึ่งตัวนำเรียบร้อยแล้ว ให้เข้าไปภายในเนื้อสารกึ่งตัวนำมากยิ่งขึ้น เพื่อจัดการกระจายของสารเจือปนให้เหมาะสม โดยไม่มีการเพิ่มสารเจือปนเข้าไปในเนื้อสารกึ่งตัวนำอีก

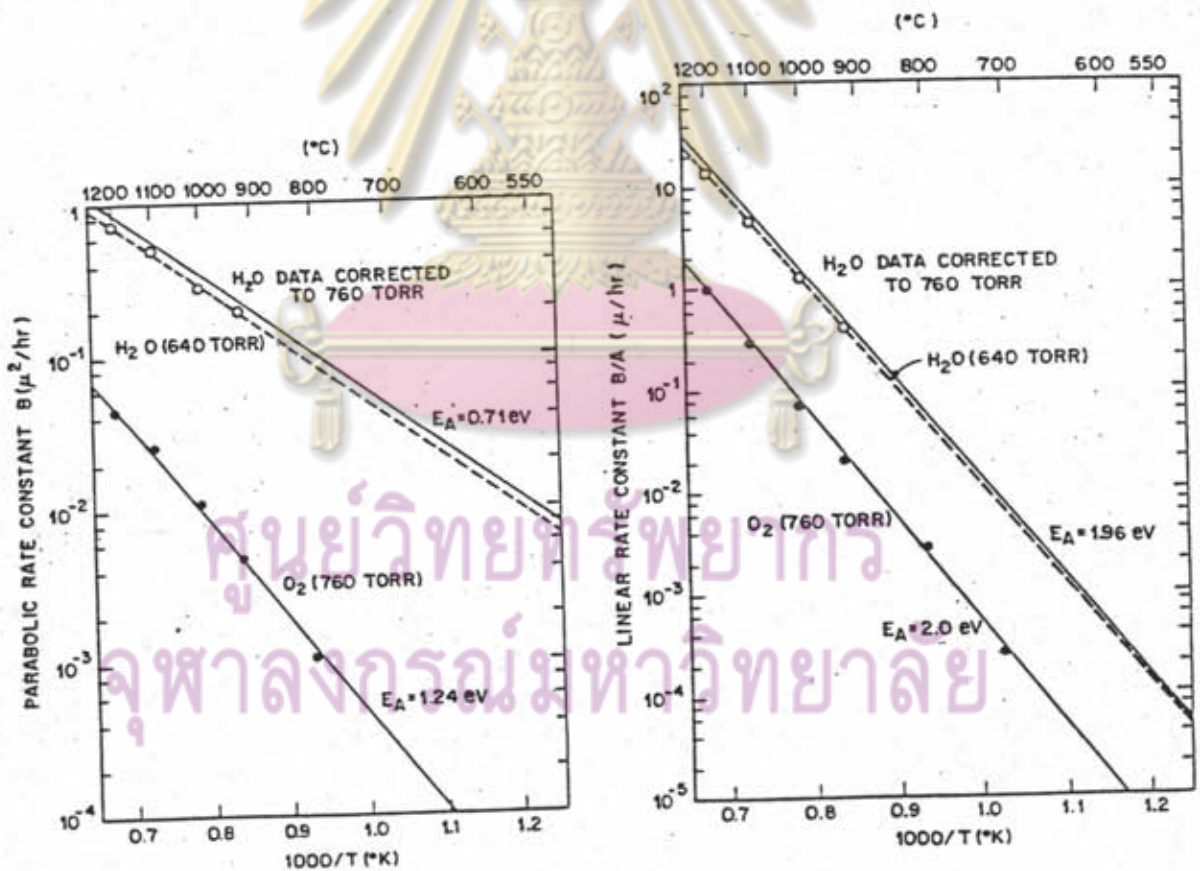
##### 4.2.1 การแพร่ซึมฝาก (Predeposition)

ทำโดยการนำแวนผลึกซึ่งต้องการแพร่ซึมสารเจือปนเข้าไปในเตาที่มีอุณหภูมิสูง ( $800^{\circ} - 1200^{\circ}$ ) ในบรรยากาศที่มีก๊าซเฉื่อย และสารเจือปนที่ต้องการแพร่ซึม เจือปนต่าง ๆ ในการปล่อยก๊าซผสมเข้าสู่เตาจะคล้าย ๆ กับการทำออกซิเดชันด้วยความร้อน

พิจารณาการแพร่ซึมสารเจือปนผ่านชั้นของสารกึ่งตัวนำดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็น การแพร่ซึมทางผิวหน้าเพียงด้านเดียว

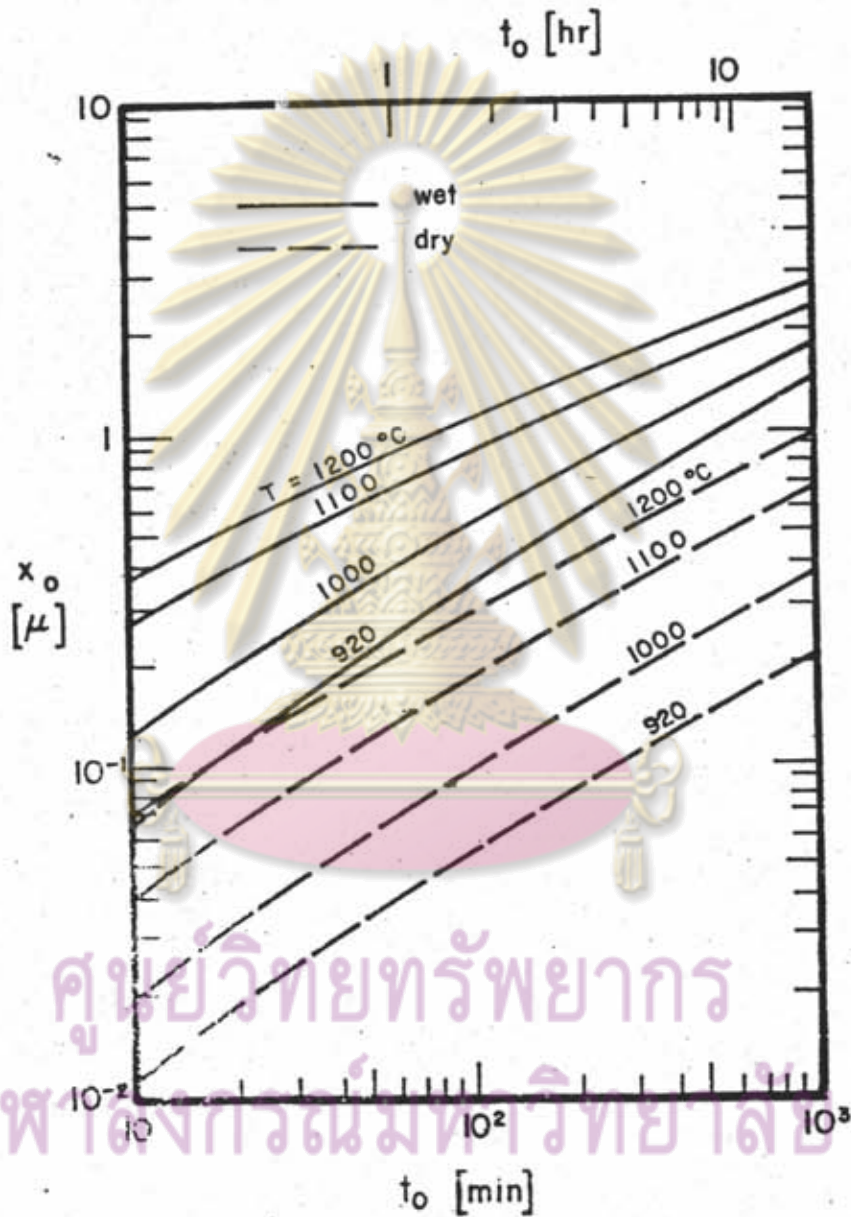


รูปที่ 4.3 การขึ้นอยู่กับความดันย่อยของ Oxidant ของค่า A และ B (43)



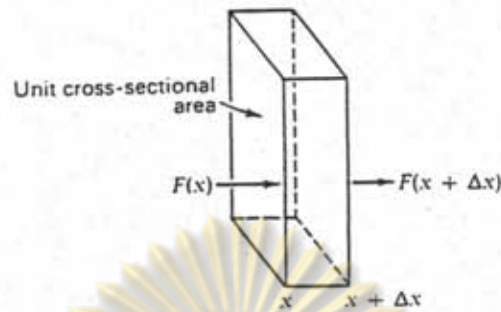
รูปที่ 4.4 การขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของค่า B และ B/A (43)

เมื่อ  $F(x)$  และ  $F(x + \Delta x)$  เป็นปริมาณอะตอมของสารเจือปนในหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลาขาเข้าและขาออกจากเนื้อสารกึ่งตัวนำตามลำดับ ดังนั้นความหนาแน่นของสารเจือปนที่เพิ่มขึ้นในปริมาตรนี้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา เป็น



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของซีโนออกไซด์ และเวลาที่ใช้ทำออกซิเดชันของ Dry oxidation และ Wet oxidation (44)





รูปที่ 4.6 ปริมาตรส่วนหนึ่งของเนื้อสารกึ่งตัวนำที่สารเจือปนแพร่เข้ามา

$$\Delta x \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = F(x) - F(x + \Delta x) \quad (4.12)$$

โดยที่  $\bar{C}$  คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเจือปนในปริมาตรดังกล่าว

จากสมการที่ (4.12) เมื่อคำนึงถึงการเพิ่มของความหนาแน่นของสารเจือปนที่ตำแหน่ง  $x$  ต่อหนึ่งหน่วยเวลา จะได้ว่า

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t}(x, t) = \frac{F(x) - F(x + \Delta x)}{\Delta x} = -\frac{\partial F}{\partial x}(x) \quad (4.13)$$

$$\text{โดยที่} \quad F(x) = -D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}(x, t) + \mu E C(x, t) \quad (4.14)$$

$D$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารเจือปน

$\mu$  คือ ความคล่องตัวของพาหะของสารเจือปนภายใต้สนามไฟฟ้า  $E$   
(สำหรับการแพร่ของสารเจือปนชนิดพี)

จากสมการที่ (4.13) และ (4.14) จะได้ว่า

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t}(x, t) = D \frac{\partial^2 \bar{C}(x, t)}{\partial x^2} - \mu E \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}(x, t) \quad (4.15)$$

ในระหว่างกระบวนการแพร่ซึม สมมติว่าไม่มีสนามไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้  $E = 0$  ดังนั้นจะได้สมการการแพร่ซึมสารเจือปนผ่านเนื้อสารกึ่งตัวนำ เป็น

$$\frac{\partial c}{\partial t}(x, t) = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}(x, t) \quad (4.16)$$

การแพร่ซึมฝากนี้เงื่อนไขในการปล่อยสารเจือปนเข้าสู่เตาต้องคงที่ตลอดกระบวนการ เพื่อควบคุมให้ความเข้มข้นของสารเจือปนบริเวณผิวของสารกึ่งตัวนำ ( $c_s$ ) คงที่เสมอ การพิจารณาการแพร่ซึมฝากมีเงื่อนไขขอบเขต ดังต่อไปนี้

$$c(0, t) = c_s \quad (4.17)$$

$$c(\infty, t) = 0 \quad (4.18)$$

และ

$$c(x, 0) = 0 \quad (4.19)$$

จากสมการที่ (4.16) และเงื่อนไขขอบเขตดังกล่าว ทำให้ได้ข้อเฉลยที่สอดคล้องเป็น

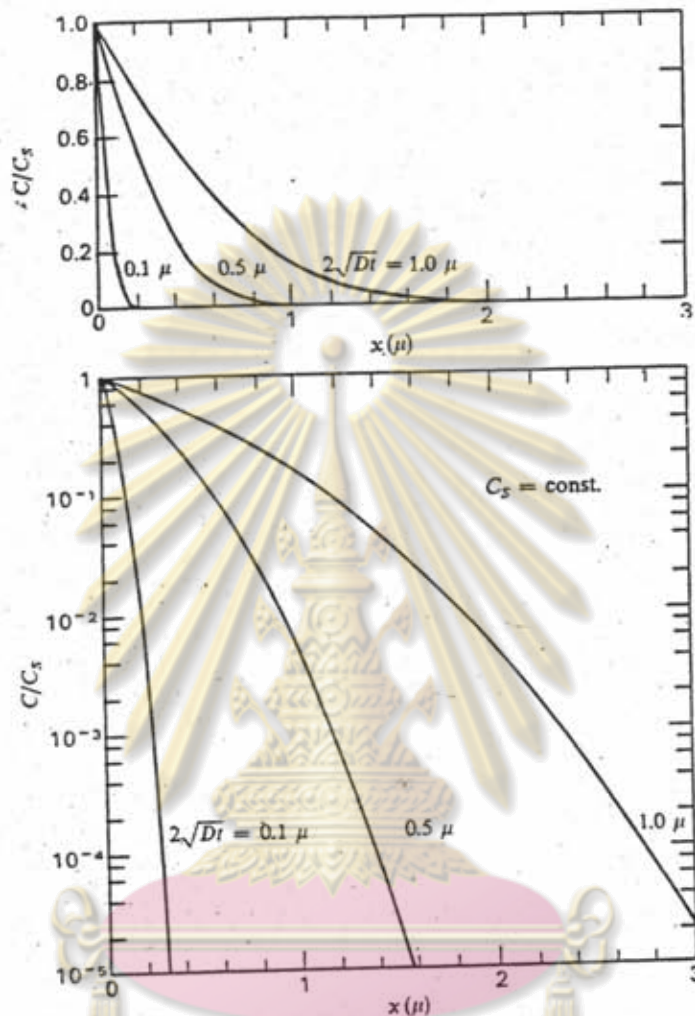
$$c(x, t) = c_s \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (4.20)$$

ปริมาณอะตอมของสารเจือปนที่แพร่ซึมเข้าสู่เนื้อสารกึ่งตัวนำทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เป็น

$$Q(t) = \int_0^{\infty} c(x, t) dx = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{Dt} c_s \quad (4.21)$$

ลักษณะการกระจายของสารเจือปนหลังจากทำการแพร่ซึมฝากแล้ว ที่ค่าความยาวของการแพร่ซึม (Diffusion length,  $2\sqrt{Dt}$ ) ต่าง ๆ กัน แสดงดังในรูปที่ 4.7

ดังได้กล่าวมาแล้ว ในการแพร่ซึมฝากจะควบคุมให้ความเข้มข้นของสารเจือปนที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ ( $c_s$ ) คงที่ โดยที่ถ้าการแพร่ซึมของสารเจือปนเข้าสู่สารกึ่งตัวนำไม่ถูกต้านแล้ว



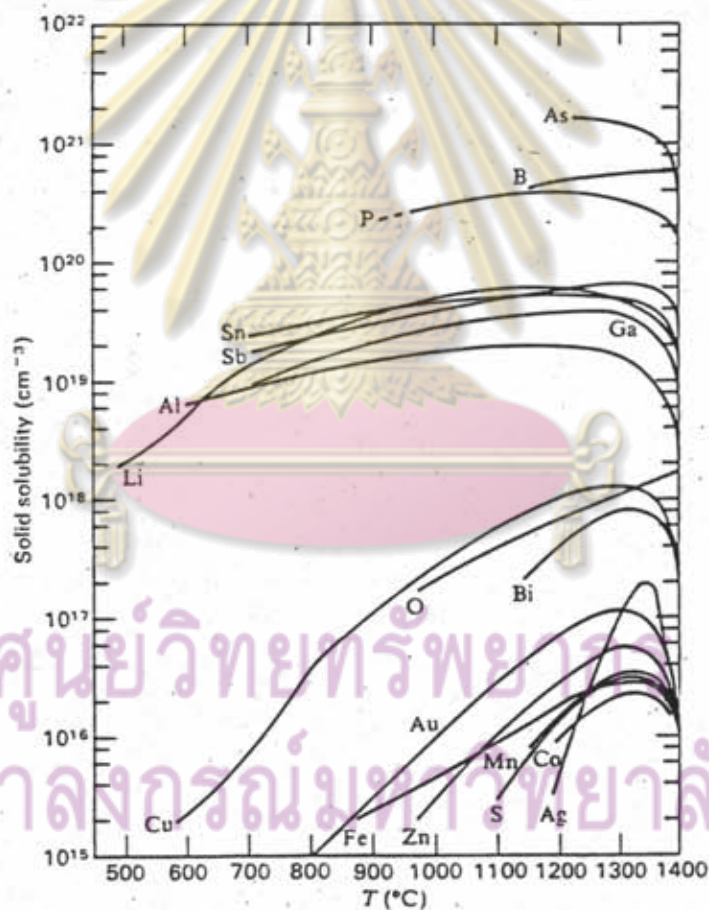
รูปที่ 4.7 การกระจายของสารเจือปนหลังจากการทำแพร่ซึมฉาก

ความเข้มข้นของสารเจือปนที่ผิวของสารกึ่งตัวนำนี้จะแปรผันตรงกับความดันย่อยของสารเจือปนในบรรยากาศของเตาแพร่ซึม ตามกฎของ Henry

$$C_s = HP \quad (4.22)$$

แต่อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของสารเจือปนที่ผิวของสารกึ่งตัวนำของสารเจือปนชนิดต่าง ๆ จะมีค่าสูงสุดอยู่ค่าหนึ่ง  $C_s$  อุณหภูมิหนึ่ง ๆ เรียกว่า Solid solubility ของสารเจือ

ป็น ค่า Solid solubility ของสารเจือปนชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงดังในรูปที่ 4.8 โดยทั่วไปในทางปฏิบัติการกำหนดเงื่อนไขในการละลายสารเจือปนเข้าสู่เตาแพร่ซึมนั้น จะกำหนดเงื่อนไขให้ได้ความเข้มข้นของสารเจือปนที่ผิวของสารกึ่งตัวนำมีค่าเท่ากับ Solid solubility ของสารเจือปนชนิดนั้น ๆ เพื่อให้ความเข้มข้นของสารเจือปนที่ผิวของสารกึ่งตัวนำไม่ขึ้นกับความดันย่อยของสารเจือปนภายในเตาแพร่ซึม ทำให้ได้ความเข้มข้นของสารเจือปนที่กระจายบนผิวของแวนผลึกเป็นแบบสม่ำเสมอ และทำให้การควบคุมการผลิตเพื่อให้ได้เงื่อนไขในการผลิตเหมือนเดิมทำได้ง่าย



รูปที่ 4.8 Solid solubility ของสารเจือปนในซิลิกอน (21)

#### 4.2.2 การแพร่ซึมลึก (Drive-in diffusion)

สารเจือปนซึ่งถูกนำเข้ามาภายในสารกึ่งตัวนำเรียบรอยแล้วจากการแพร่ซึมผิวที่มีความเข้มข้นของสารเจือปนที่ผิวของสารกึ่งตัวนำเท่ากับค่า Solid solubility ของสารเจือปนนั้น ๆ จะถูกลดความเข้มข้นของสารเจือปนที่ผิวลง และแพร่ซึมสารเจือปนให้เข้าไปภายในเนื้อสารกึ่งตัวนำมากยิ่งขึ้น โดยที่ปริมาณสารเจือปนภายในสารกึ่งตัวนำไม่เปลี่ยนแปลงด้วยการแพร่ซึมลึก การแพร่ซึมลึกทำได้โดยการนำแว่นผลึกเข้าไปในเตาที่มีความร้อนสูง ในบรรยากาศที่ประกอบด้วยก๊าซออกซิเจน และก๊าซเฉื่อย โดยปราศจากสารเจือปน การแพร่ซึมลึกในบรรยากาศที่มีออกซิเจนอยู่ด้วยเพื่อปลุกชั้นออกไซด์บาง ๆ บนผิวของการแพร่ซึม เพื่อป้องกันสารเจือปนเข้าไปยังและหนีออกจากสารกึ่งตัวนำ เป็นการควบคุมให้ปริมาณสารเจือปนภายในสารกึ่งตัวนำคงที่ (Q)

การกระจายความเข้มข้นของสารเจือปนหลังจากการแพร่ซึมลึกแล้ว จะหาได้จากข้อเฉลี่ยของสมการการแพร่ซึม (4.16) โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$\left. \frac{\partial c}{\partial x} \right|_{(0, t)} = 0 \quad (4.23)$$

$$c(\infty, t) = 0 \quad (4.24)$$

และ

$$c(x, 0) = c_s \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{(Dt)_{\text{predep}}}} \quad (4.25)$$

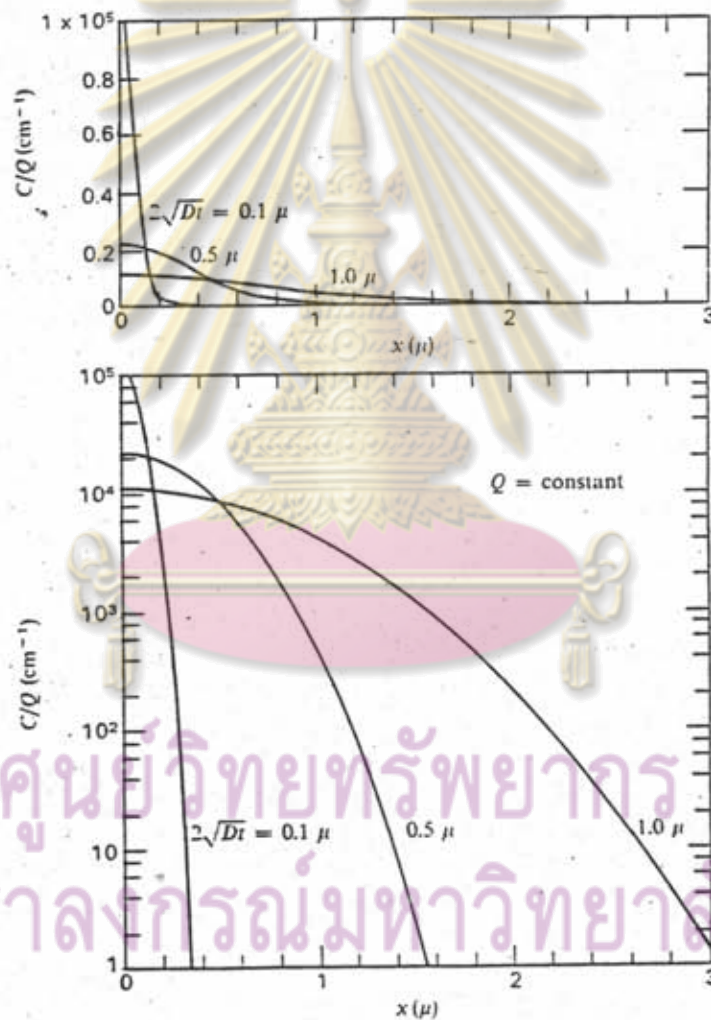
เนื่องจากในทางปฏิบัติแล้วความยาวของการแพร่ซึม ( $2\sqrt{Dt}$ ) ของการแพร่ซึมลึกจะมีขนาดใหญ่กว่า ความยาวของการแพร่ซึมของการแพร่ซึมผิวมาก จึงถือได้ว่าชั้นของสารเจือปนที่ได้จากการแพร่ซึมผิวบางมาก ๆ จนสามารถแทนได้ด้วยฟังก์ชันเดลต้า

จากเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น ข้อเฉลี่ยที่เหมาะสมจะเป็นการกระจายแบบ Gaussian ดังนี้

$$C(x,t) = C_s(t) e^{-x^2/4Dt} \quad (4.26)$$

$$C_s(t) = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} \quad (4.27)$$

การกระจายของสารเจือปนภายในเนื้อสารกึ่งตัวนำหลังจากทำการแพร่ซึมลึกแล้ว ที่ความยาวของการแพร่ซึมต่าง ๆ กัน แสดงดังในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การกระจายของสารเจือปนหลังจากทำการแพร่ซึมลึก

### 4.3 การออกแบบหน้ากาก

การออกแบบหน้ากาก (Mask) จะขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของสิ่งประดิษฐ์ที่อยู่บนแผ่นผลึก ในการศึกษากระบวนการผลิตตัวเก็บประจุและทรานซิสเตอร์แบบมอส สิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการศึกษาคือ ตัวเก็บประจุ มอส ทรานซิสเตอร์แบบมอส และตัวต้านทานแพร่ซึม (Diffused resistor) ดังนั้นลักษณะและจำนวนของหน้ากากที่จะใช้ในการผลิตจะขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งประดิษฐ์ดังกล่าว การผลิตสิ่งประดิษฐ์มอสดังกล่าวมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ตัวเก็บประจุ การผลิตตัวเก็บประจุเพื่อศึกษาถึงผลของเทคโนโลยีซิลิกอนแบบพลาแนร์ (Silicon planar technology) ที่มีต่อคุณภาพของซิลิกอนไดออกไซด์ และสมบัติทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ ในการผลิตตัวเก็บประจุขั้นตอนการผลิตที่ต้องใช้หน้ากากมี 2 ขั้นตอน (รายละเอียดขั้นตอนการผลิตกล่าวไว้ในบทที่ 6) คือ

1.1 การทำ Photolithography เพื่อเปิดหน้าต่างทำเกตออกไซด์

1.2 การทำ Photolithography เพื่อสร้างอะลูมิเนียมเกตโดยกัดอะลูมิเนียม

ที่ไม่ต้องการออก

2. ตัวต้านทานแพร่ซึม การผลิตตัวต้านทานแพร่ซึมเพื่อใช้ในการศึกษาชั้นแพร่ซึม (Diffused layer) ของเดรนและซอร์สของทรานซิสเตอร์แบบมอสว่ามีคุณสมบัติตามต้องการหรือไม่ (วิธีการศึกษาชั้นแพร่ซึม กล่าวไว้ในบทที่ 5) ขั้นตอนการผลิตตัวต้านทานแพร่ซึมที่ต้องใช้หน้ากากมี 4 ขั้นตอนคือ

2.1 การทำ Photolithography เพื่อเปิดหน้าต่างทำชั้นแพร่ซึม

2.2 การทำ Photolithography เพื่อเปิดหน้าต่างทำชั้นออกไซด์สะอาดหลัง

การแพร่ซึม

2.3 การทำ Photolithography เพื่อเปิดหน้าต่างทำผิวสัมผัส

2.4 การทำ Photolithography เพื่อกัดอะลูมิเนียมที่ไม่ต้องการออก

3. ทรานซิสเตอร์แบบมอส การผลิตทรานซิสเตอร์แบบมอสเพื่อศึกษาผลของเทคโนโลยีซิลิกอนแบบพลาแนร์ที่มีต่อสมบัติทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์แบบมอส และศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างเดรนและซอร์สต่อสมบัติทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์แบบมอส โดยระยะห่างระหว่างเดรนและซอร์สที่ศึกษามีค่าเป็น 50, 75 และ 100  $\mu\text{m}$  ตามลำดับ ขั้นตอนการผลิต

ทรานซิสเตอร์แบบมอสที่ต้องใช้หน้ากากมี 5 ชั้นตอน คือ

- |     |                        |   |
|-----|------------------------|---|
| 3.1 | การทำ Photolithography | เพื่อเปิดหน้าต่างทำชั้นแพร์ซิม                  |
| 3.2 | การทำ Photolithography | เพื่อเปิดหน้าต่างปลุกออกไซด์สะอาดหลังการแพร์ซิม |
| 3.3 | การทำ Photolithography | เพื่อเปิดหน้าต่างทำเกตออกไซด์                   |
| 3.4 | การทำ Photolithography | เพื่อเปิดหน้าต่างทำผิวสัมผัส                    |
| 3.5 | การทำ Photolithography | เพื่อกัดอะลูมิเนียมที่ไม่ต้องการออก             |

การแพร์ซิม

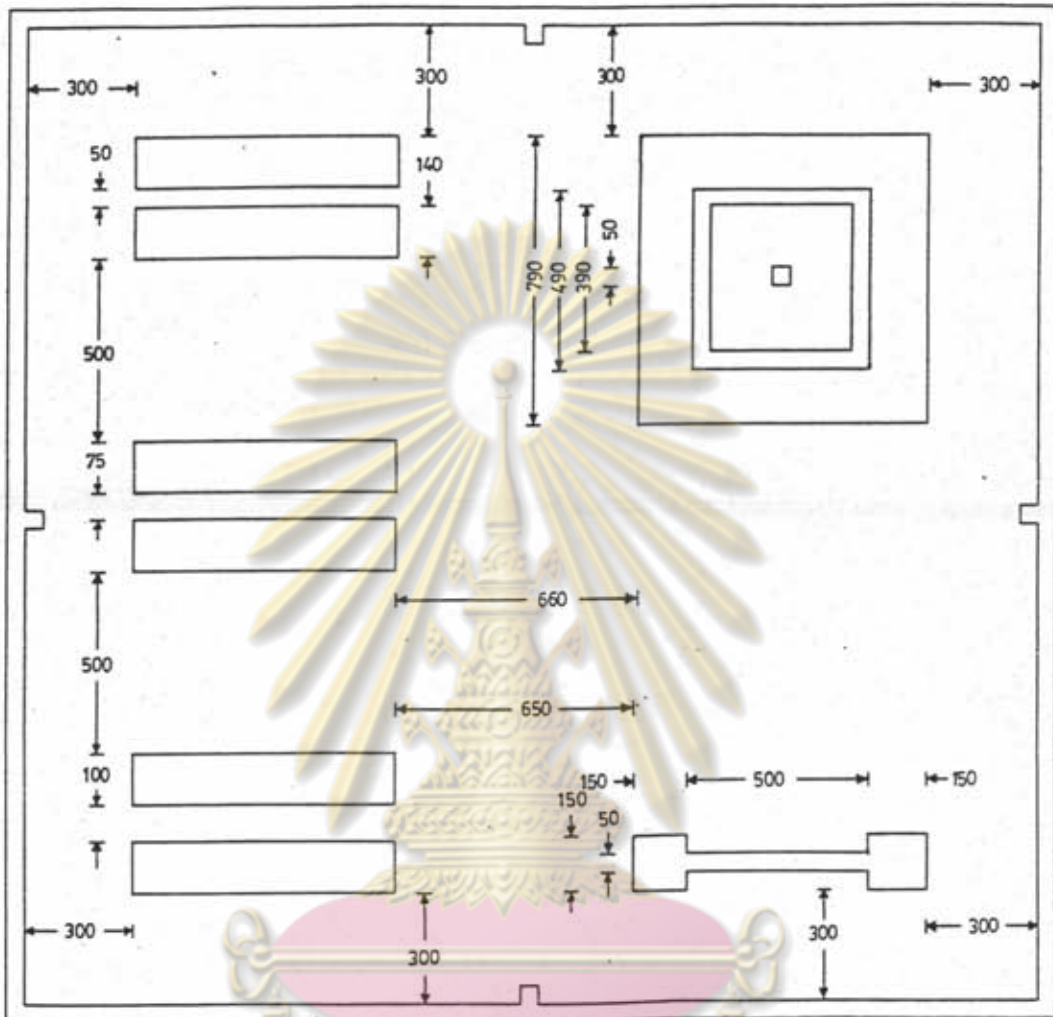
จากขั้นตอนการผลิตที่ต้องใช้หน้ากากและวัตถุประสงค์ในการศึกษาสิ่งประดิษฐ์มอสดังกล่าว ทำให้การผลิตตัวเก็บประจุมอส ทรานซิสเตอร์แบบมอส และต้านทานแพร์ซิมบนเว้าผลึกเดียวกันต้องใช้หน้ากากในการผลิต 5 หน้ากาก คือ

1. หน้ากากเพื่อเปิดหน้าต่างทำชั้นแพร์ซิม (Diffusion mask)
2. หน้ากากเพื่อเปิดหน้าต่างปลุกออกไซด์สะอาดหลังการแพร์ซิม (Clean oxide mask)
3. หน้ากากเพื่อเปิดหน้าต่างทำเกตออกไซด์ (Gate oxide mask)
4. หน้ากากเพื่อเปิดหน้าต่างทำผิวสัมผัส (Contact mask)
5. หน้ากากเพื่อกัดอะลูมิเนียมที่ไม่ต้องการออก (Metalization mask)

ลักษณะหน้ากากที่ออกแบบเพื่อใช้ในการศึกษากระบวนการผลิตตัวเก็บประจุมอสและทรานซิสเตอร์แบบมอสมีดังในรูปที่ 4.10 ถึง 4.14

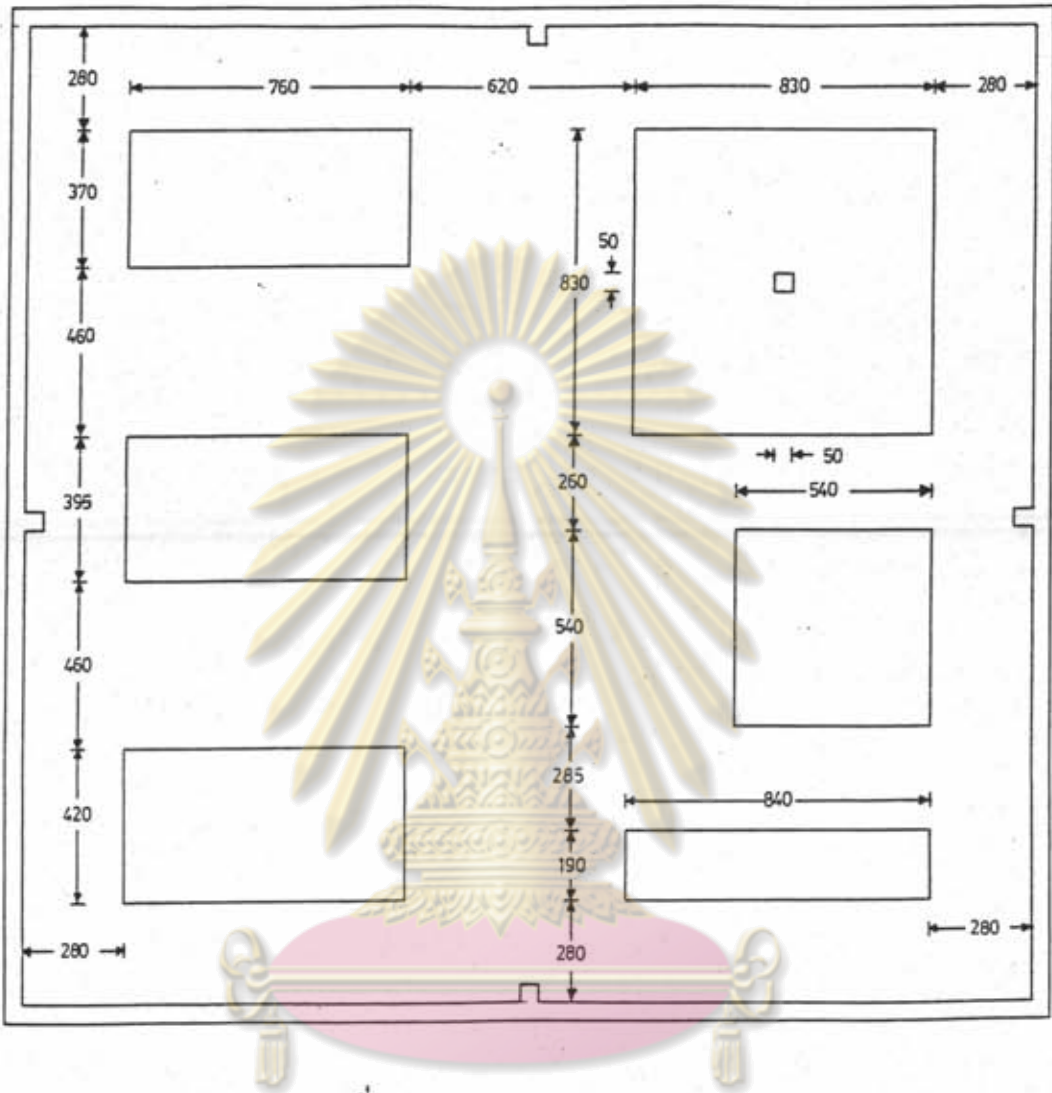
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





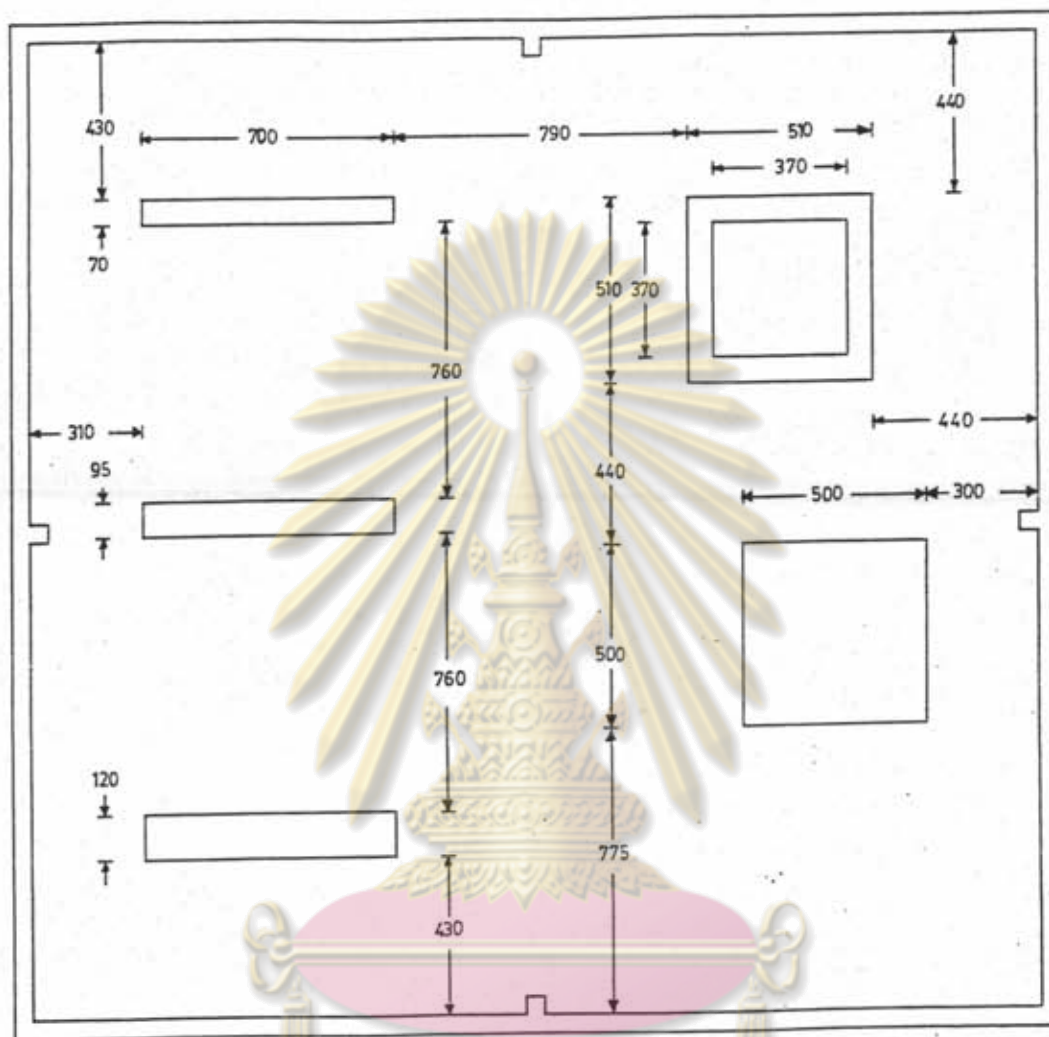
รูปที่ 4.10 Diffusion mask

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



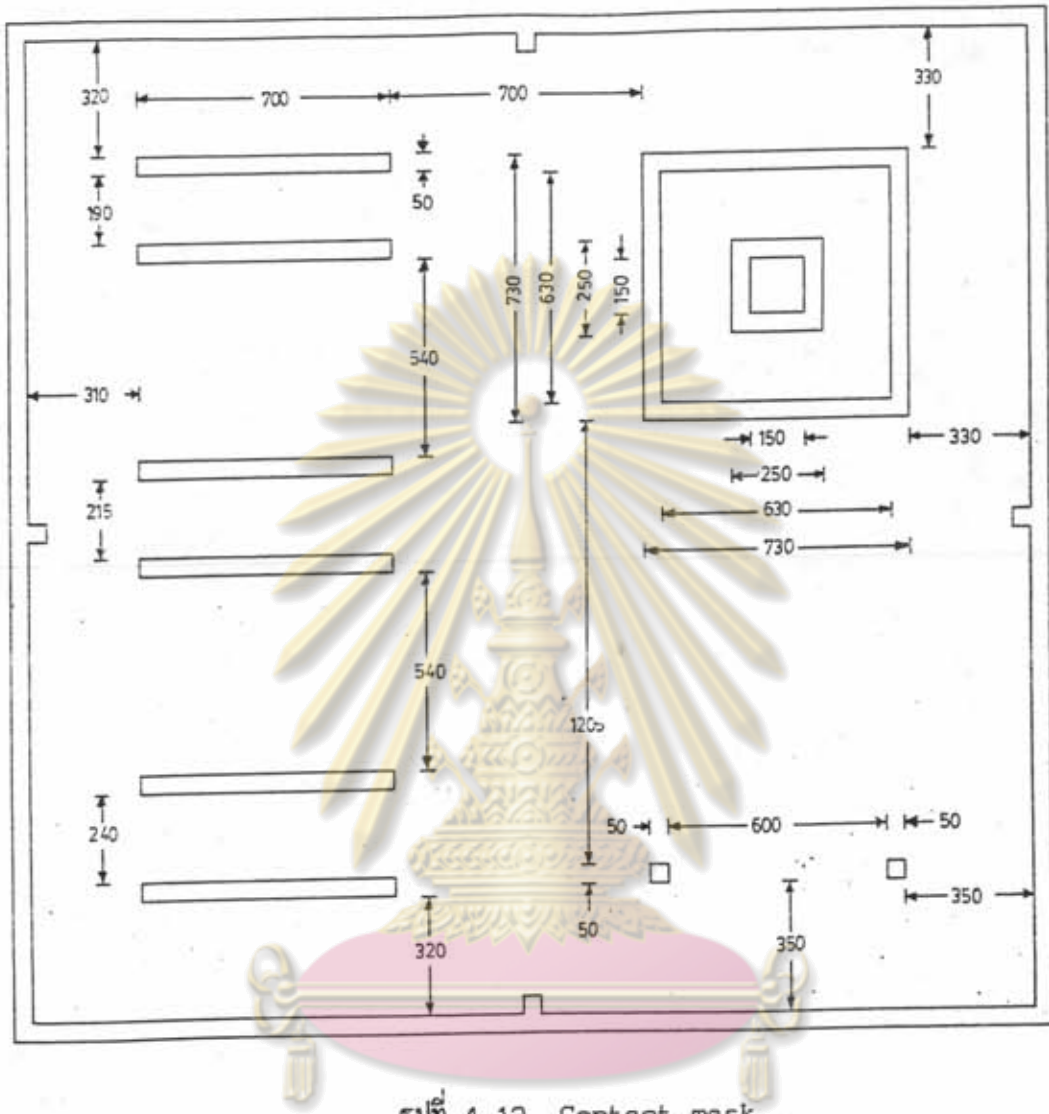
รูปที่ 4.11 Clean oxide mask

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



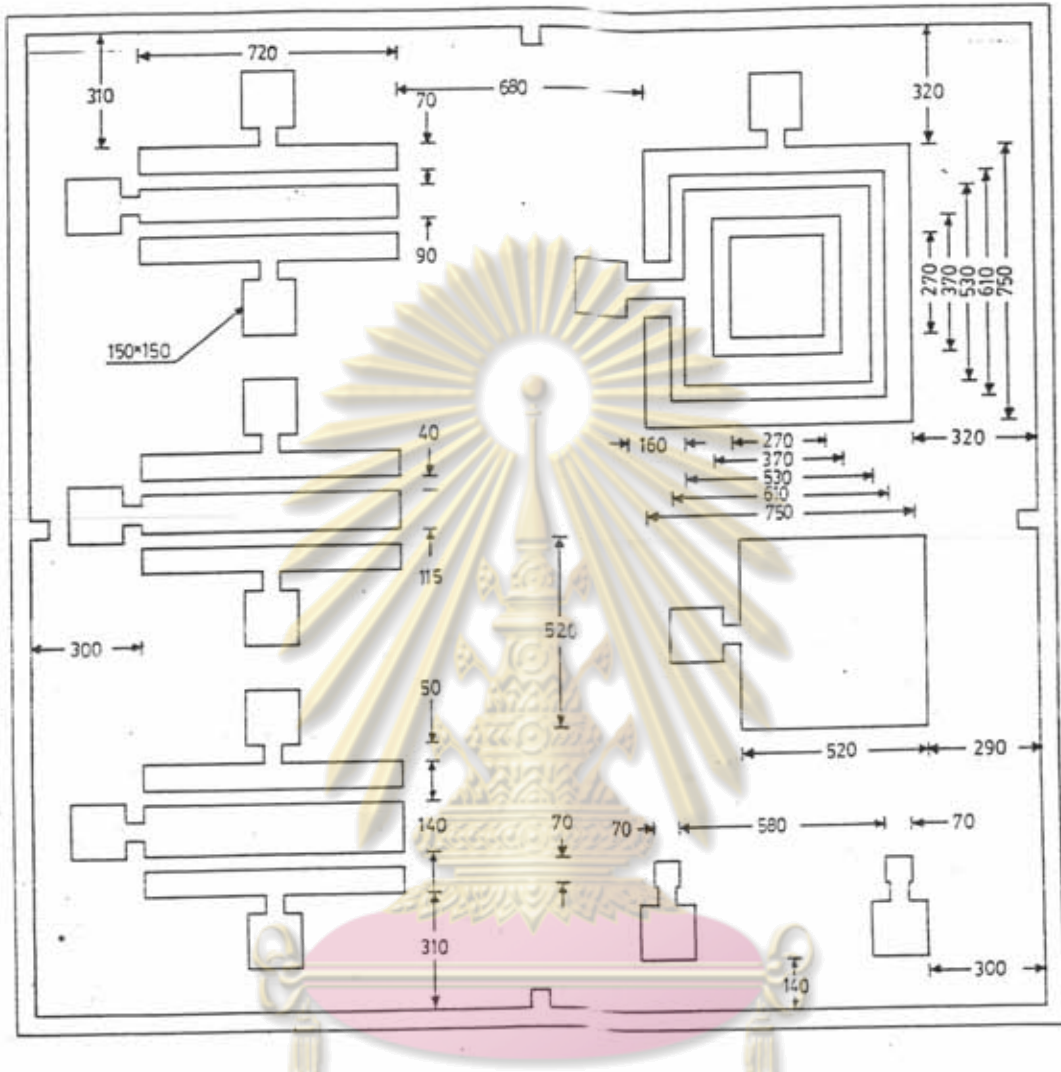
รูปที่ 4.12 Gate oxide mask

ศูนย์วิจัยทรพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 Contact mask

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 Metalization mask

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย