บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 กระบวนการผลิตชิพ RFID ของศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC)

กระบวนการผลิตชิพ RFID จะมีการผลิตที่ค่อนข้างสมบูรณ์โดยจะประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนการผลิตหลักๆ ดังนี้

1. การเตรียมห้องสะอาดสำหรับผลิตชิพ (TMEC Clean Room)
2. การปลูกฟิล์มบาง (Thin Film Deposit Processing)
3. กระบวนการยิงฝังประจุ (Ion Implantation)
4. การถ่ายแบบลวดลาย (Photolithography)
5. การกัดลาย (Etching)

โดยจะมีระบบสาธารณูปโภคซึ่งได้ทำเป็นข้อกำหนดขึ้นมาภายในศูนย์เทคโนโลยีแห่งนี้ ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละกระบวนการหลักๆดังต่อไปนี้

4.1.1 การเตรียมห้องสะอาดสำหรับผลิตชิพ (Clean Room)

ห้องสะอาดของศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC Clean Room) ใช้สำหรับสนับสนุนกระบวนการผลิตเป็นห้องระบบปิดปราศจากฝุ่นละออง ภายในห้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ ปริมาณอนุภาค อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันอากาศ โดยมีพื้นที่ทั้งสิ้น 950 ตารางเมตร แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

4.1.1.1 Process Area 312 ตรม. เป็น Clean Room Class 100 (Class 100 หมายถึง ในอากาศ 1 ลูกบาศก์ฟุต จะยอมให้มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอน อยู่ไม่เกิน 100 อนุภาค) Process Area Specification

- พื้นที่ 312 m^2
- อุณหภูมิ 22 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ 45%
- อัตราการไหลของอากาศ 0.35 m/s
- อัตราการถ่ายเทอากาศ 360 air change/hr
- แรงดันไฟฟ้าสถิต < 50 V

❍ ความดัน 101,579 Pa (10,347 mm. w.g.)

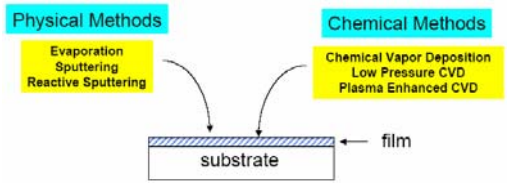
4.1.2.1 Service Area 638 ตรม. เป็น Cleanroom Class 10,000 (Class 10,000 หมายถึง ในอากาศ 1 ลูกบาศก์ฟุต จะยอมให้มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอน อยู่ไม่เกิน 10,000 อนุภาค)

หลักการปรับอากาศของห้องสะอาด คือ สร้างลมเย็นที่ได้รับการควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติจากชุด Fan Coil Units (FCUs) โดยในส่วนของบริเวณ Process Area ลมเย็นจะผ่านชุด Fan Filter Units (FFUs) ที่ประกอบด้วยแผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง (ULPA Filter) ซึ่งสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.12 ไมครอนได้ถึง 99.9999 % และ FFUs ยังเป็นส่วนที่ใช้ในการผลักดันอากาศให้มีทิศทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงในแนวดิ่ง (Vertical Laminar Flow) เพื่อกำจัดการหมุนเวียนของสิ่งปนเปื้อนภายในอากาศ สำหรับการถ่ายเทอากาศในห้องสะอาดระหว่างอากาศที่เติมเข้ามาใหม่บางส่วนจาก Air Handling Unit (AHU) และอากาศที่ถูกระบายออกต้องมีความสัมพันธ์กัน เพื่อให้ความดันอากาศภายในห้องมีค่ามากกว่าความดันบรรยากาศภายนอก

ภาพที่ 4.1
ห้องสะอาดสำหรับผลิตชิพ

4.1.2 การปลูกฟิล์มบาง (Thin Film)

ภาพที่ 4.2
กระบวนการปลูกฟิล์มบางในแบบต่างๆ



ในขั้นตอนนี้จะมีการปลูกฟิล์มบางนี้จะมีหลากหลายวิธีซึ่งมีวิธีหลักๆที่ทางศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ใช้อยู่ 5 วิธี ดังนี้

4.1.2.1 LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) เป็นวิธีการปลูกฟิล์มบางโดยการเคลือบฟิล์มบางชนิดต่างๆ ประกอบด้วย โพลีซิลิกอน (Poly-Si), อะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si), ซิลิกอนไนไตรด์ (Si_3N_4), ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2), ฟอสฟอซิลิเกตกลาส (PSG) และโบโรฟอสฟอซิลิเกตกลาส (BPSG) การเคลือบฟิล์มด้วยเครื่อง LPCVD ได้รับความนิยมอย่างมากในกระบวนการสร้างทางด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีปริมาณการผลิตต่อครั้งสูง และมีคุณภาพฟิล์มที่ดี

เครื่อง LPCVDแบบ horizontal hot-wall furnace รุ่น SVG THERMCO TMX2603

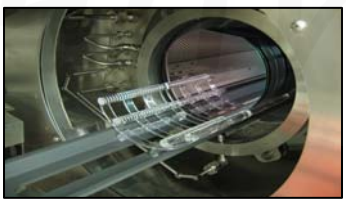
การเคลือบฟิล์มด้วยเครื่อง LPCVD สามารถควบคุมคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์มได้จากการควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ ในกระบวนการสร้าง เช่น อุณหภูมิ, ความดัน, และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีภายในท่อควอทซ์ เป็นต้น โครงสร้างของเครื่อง LPCVD ประกอบด้วย

- ชุดคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของระบบ
- สถานีรับ-ส่งชิ้นงาน
- ท่อควอทซ์และขดลวดความร้อนแบบ 3 โซน
- ชุดจ่ายก๊าซและชุดควบคุมความดัน

ภาพที่ 4.3
คอมพิวเตอร์ควบคุม

ภาพที่ 4.4
บอร์ดควบคุม

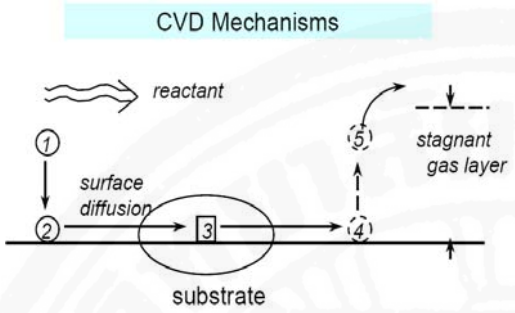
ภาพที่ 4.5
อุปกรณ์ส่งชิ้นงาน



ภาพที่ 4.6
แหล่งจ่ายก๊าซ

ภาพที่ 4.7

หลักการปลูกฟิล์มบางแบบ LPCVD



1.Diffusion of reactant to surface การแพร่ของไอระเหยเคมีที่เข้าทำปฏิกิริยาสู่ผิวเวเฟอร์

2.Aborption of reactant to surface การดูดซับเข้าสู่พื้นผิว

3.Chemical reaction การเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น

4.Desorption of gas by product การดึงก๊าซออก

5.Outdiffusion of by-product gas

<u>ปฏิกิริยาทางเคมีของการเคลือบฟิล์ม</u>

- โพลีซิลิคอน (Poly-Si) (T= 620°C) และอะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si) (T= 560°C)

  SiH_4 (gas) ⟶ Si (solid) + by-products

- ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO2) (T= 700°C)

  $Si(OC_2H_5)_4$ (vapor) ⟶ SiO_2 (solid)+ by-products

- ซิลิคอนไนไตรด์ (Si3N4) (T= 780°C)

  $3SiH_2Cl_2$ (gas) + $4NH_3$ (gas) ⟶ Si_3N_4 (solid) + by-products

4.1.2.2 <u>Thermal oxide</u> เตาแพร่สารได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เพื่อใช้ในกระบวนการสร้างเกตออกไซด์ การแอนนีลและการซินเตอร์ การสร้างชั้นฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์จากกระบวนการออกซิเดชั่นแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การออกซิเดชั่นด้วยก๊าซออกซิเจน (Dry Oxidation) และการออกซิเดชั่นด้วยไอน้ำ (Wet Oxidation) โดยมีการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้

<u>Dry Oxidation</u> Si (s) + O_2 ⟶ SiO_2 (s)

<u>Wet Oxidation</u> Si (s) + $2H_2O$ ⟶ SiO_2 (s) + $2H_2$ (g)

<u>เครื่องแพร่สาร SVG THERMCO TMX2604</u>

เป็นเครื่องแพร่สารที่ใช้กับแผ่นเวเฟอร์ขนาด 6 นิ้ว ซึ่งประกอบด้วยออกซิเดชั่น 1 เตา แอนนิล 2 เตา และซินเตอร์ 1 เตา โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องดังรูป

ภาพที่ 4.8

เตาแพร่สาร

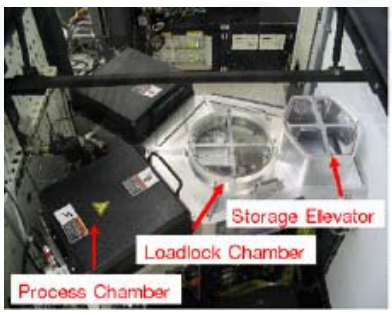
4.1.2.3 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor) การปลูกฟิล์มบางด้วยไอสารเคมีแบบพลาสมาใช้อุณหภูมิต่ำประมาณ <400°C เป็นวิธีการปลูกชั้นฟิล์มบางที่อาศัยการแตกตัวของสารเคมีในสถานะก๊าซและเกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นสารใหม่ตกเคลือบบนเวเฟอร์ การปลูกฟิล์มวิธีนี้ใช้หลักการพลาสมาช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของก๊าซ จึงทำให้สามารถปลูกชั้นฟิล์มได้ที่อุณหภูมิต่ำ สำหรับการสร้างวงจรรวม TMEC ใช้เครื่อง PECVD Precision 5000 ในการสร้างชั้นฟิล์มซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และชั้นฟิล์มซิลิคอนไนไตรด์ (Si_3N_4)

เครื่อง PECVD Precision 5000

1. มีห้องสุญญากาศ (Process Chamber) 2 ห้อง คือ ห้อง A และ B ใช้สำหรับปลูกฟิล์มซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และชั้นฟิล์มซิลิคอนไนไตรด์ (Si_3N_4) ตามลำดับ
2. ใช้ได้กับแผ่นเวเฟอร์ 6 นิ้ว แบบที่มีส่วนเรียบ (Flat)
3. สามารถปลูกฟิล์มบนแผ่นเวเฟอร์ได้ด้วยความเร็ว 62 แผ่นต่อชั่วโมง
4. สามารถปรับอุณหภูมิของฐานรองในช่วง 300 – 400°C ได้
5. มีอัตราการปลูกฟิล์ม SiO_2 และ Si_3N_4 อยู่ที่มากกว่า 100 nm ต่อนาที
6. มีความไม่สม่ำเสมอของความหนาชั้นฟิล์มภายในแผ่นเวเฟอร์น้อยกว่า 5%

ภาพที่ 4.9

ห้องสุญญากาศของเครื่อง PECVD



ปฏิกิริยาเคมีของการปลูกชั้นฟิล์มบาง

ซิลิคอนไดออกไซด์

$$SiH_4\ (gas) + 2N_2O\ (gas) \longrightarrow SiO_2\ (solid) + 2N_2\ (gas) + 2H_2\ (gas)$$

ซิลิคอนไนไตรด์

$$SiH_4\ (gas) + NH_3\ (gas) \longrightarrow Si_xN_yH_z\ (solid) + H_2\ (gas)$$

$$SiH_4\ (gas) + N_2\ (gas) \longrightarrow Si_xN_yH_z\ (solid) + H_2\ (gas)$$

โดยทั่วไปแล้ว ชั้นฟิล์มซิลิคอนไนไตรด์จะไม่ได้อัตราส่วนขององค์ประกอบของสารเคมีตามปฏิกิริยา ทำให้บางครั้งเขียนอยู่ในรูปของ $Si_xN_yH_z$

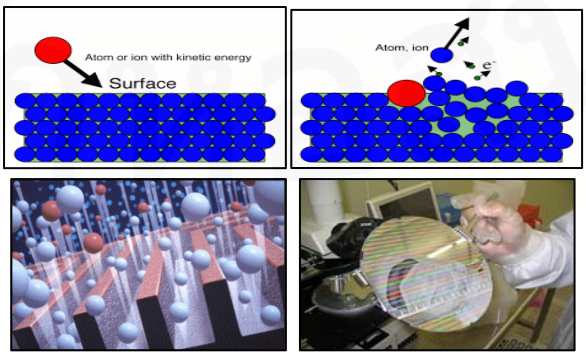
ข้อดีของการปลูกชั้นฟิล์มบางแบบพลาสมา

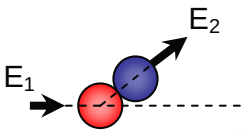
- เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำ
- มีอัตราการปลูกชั้นฟิล์มบางค่อนข้างสูง
- ชั้นฟิล์มมีคุณสมบัติที่ยึดติดกับแผ่นเวเฟอร์ได้ดี
- ชั้นฟิล์มที่ได้มี Step Coverage ดี
- ชั้นฟิล์มมีความหนาแน่นสูง

4.1.2.4 DC Magnetron Sputtering เป็นกระบวนการที่อะตอมของผิวหน้าสารเคลือบถูกทำให้หลุดออกมาด้วยการชนของอนุภาคพลังงานสูง เช่น อนุภาคของก๊าซอาร์กอน (Ar^+) จากนั้นอะตอมที่หลุดออกจากเป้าสารเคลือบ (M_2) จะวิ่งมาเคลือบบนแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ ซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน และโมเมนตัม สมการด้านล่าง อธิบายถึงความสัมพันธ์ของพลังงานก่อนชน (E_1) และหลังชน (E_2) ตามกฎอนุรักษ์พลังงานและโมเมนตัม

ภาพที่ 4.10

ลักษณะการสปัตเตอริ่ง





$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{4M_1M_2}{(M_1+M_2)^2}\cos^2\theta$$

E_2 greatest for $M_1 = M_2$

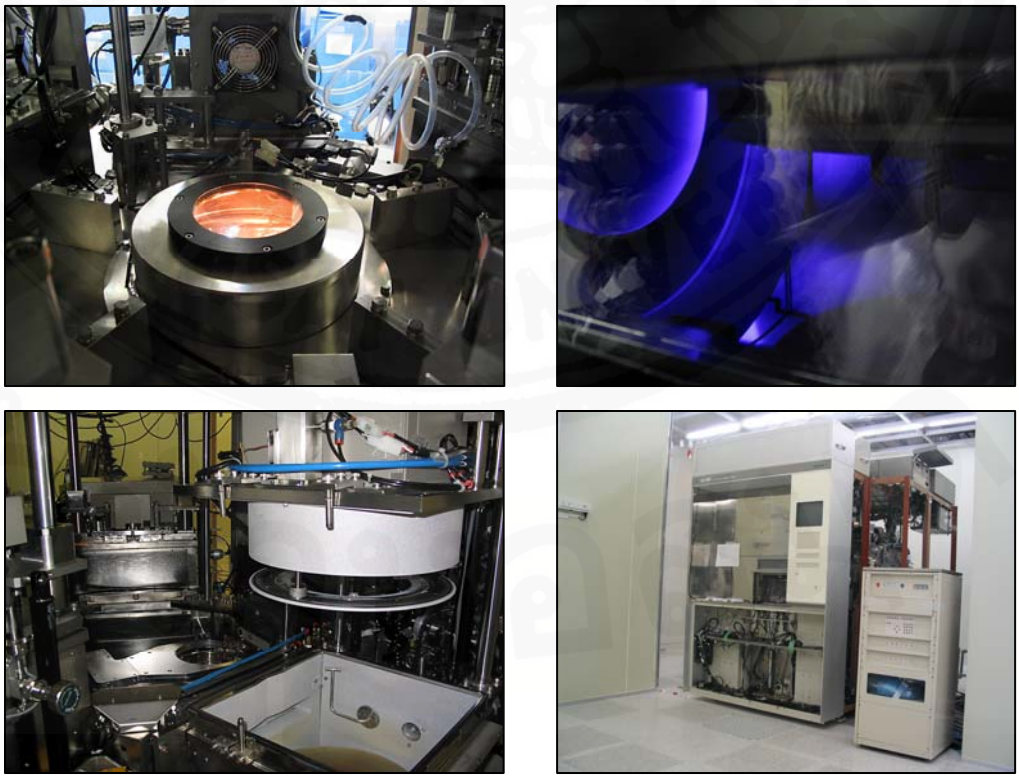
For electron hitting anode, substrate, $M_1 << M_2$

$$\frac{E_2}{E_1} \cong \frac{4M_1}{M_2}(small)$$

<u>เครื่องสปัตเตอริ่ง ANELVA รุ่น 1051</u>

สามารถปลูกฟิล์มโลหะแบบมัลติเลเยอร์ (Multilayer) คือปลูกชั้นฟิล์มโลหะ Ti, TiN และ Al-alloy เรียงซ้อนกันเป็นชั้นตามลำดับ ในห้องสุญญากาศสูง เพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสออกไซด์ในบรรยากาศซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่าความต้านทานบริเวณรอยต่อโลหะ/สารกึ่งตัวนำมีค่าสูง

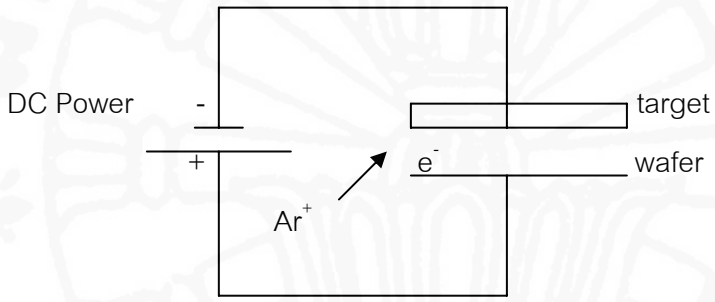
ภาพที่ 4.11
เครื่องสปัตเตอริ่ง



เครื่องสปัตเตอริ่งมีคุณสมบัติเด่นคือ

1. ทำงานแบบอัตโนมัติสำหรับซิลิกอนเวเฟอร์ขนาด 6 นิ้ว
2. ห้องสุญญากาศสูงสำหรับปลูกฟิล์มโลหะแต่ละชนิดแยกกันอย่างอิสระ ทำให้สามารถควบคุมการปนเปื้อนภายในระบบได้
3. ทำกระบวนการสปัตเตอริ่งในแนวดิ่งเพื่อลดอนุภาคฝุ่นขณะปลูกฟิล์ม ทำให้ฟิล์มที่ปลูกได้มีความบริสุทธิ์สูง นำไฟฟ้าได้ดี

ภาพที่ 4.12
การปลูกฟิล์มบาง



4.1.2.5 S.O.G (Spin on Glass) เป็นการเคลือบฟิล์มบางโดยเครื่องเคลือบฟิล์มบางจากแก้วเหลว (SOG Coater) ซึ่งแก้วเหลว (SOG) จะถูกใช้ในการก่อฟิล์มฉนวนด้วยวิธีการหมุนความเร็วสูง และการอบ ซึ่งชั้นฟิล์มที่ได้จะประกอบด้วยซิลิคอนไดออกไซด์ SiO_2 เป็นส่วนใหญ่ซึ่งตัวสารเคมีที่ใช้ประกอบด้วยสารประกอบซิลิคอน (Si) เป็นส่วนผสมหลักโดยอาจมีส่วนผสมเพิ่มเติม เช่น สารเจือสำหรับกระบวนการแพร่ สารช่วยก่อตัวของแก้ว และสารช่วยจับตัว ทั้งหมดนี้จะละลายอยู่ในน้ำยาทำละลาย เช่น เอสเทอร์ (Ester) คีโตน (Ketone) และแอลกอฮอลล์ (Alcohol) โดยที่ความหนาของฟิล์มสามารถควบคุมได้ด้วยการเปลี่ยนความเข้มข้น ความเร็วในการหมุน และอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง

เครื่องเคลือบ SOG

นำเทคโนโลยีจากบริษัท KST โมเดล MSX-1000 ตัวเครื่องมีส่วนประกอบดังนี้ ฐานวางคาสเซตต์ (Cassette loading station) 2 ชุด แท่นอุณหภูมิห้อง (Coolplate) 1 ชุด แท่นความร้อน (Hotplate) 3 ชุด โถแท่นหมุน (Spin coating bowl) 1 ชุด และระบบสนับสนุนอีก

มากมาย อีกทั้งยังมีระบบเคลื่อนย้ายแผ่นเวเฟอร์ด้วยแขนกลอัตโนมัติ ซึ่งระบบทั้งหมดจะถูกควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง ดังรูปต่อไปนี้

ภาพที่ 4.13
แท่นความร้อน

ภาพที่ 4.14
โถแท่นหมุน

ภาพที่ 4.15
ฐานวางคาสเซตต์

ภาพที่ 4.16
แขนกลอัตโนมัติ

ภาพที่ 4.17
ระบบควบคุมส่วนกลาง

ภาพที่ 4.18
เครื่อง S.O.G

เครื่องเคลือบ SOG นี้มีคุณสมบัติเด่นคือ

1. ใช้กับแผ่นเวเฟอร์ขนาด 6 นิ้วได้
2. อุณหภูมิในการผลิตต่ำซึ่งสามารถนำไปใช้ร่วมกับกระบวนการที่ใช้อลูมิเนียมได้
3. ใช้ในกระบวนการปรับความเรียบของผิวหน้า (Planarization)
4. ช่วงความหนาตั้งแต่ 100 nm ถึง 1 μm
5. อัตราการผลิตสูง

4.1.3 <u>กระบวนการยิงฝังประจุ (Implantation)</u>

<u>กระบวนการยิงฝังประจุ</u> คือ กระบวนการเปลี่ยนคุณสมบัติวัสดุโดยการยิงฝังประจุไอออนเข้าไปโดยตรง กระบวนการยิงฝังประจุนิยมใช้ในกระบวนการเจือสารเพื่อสร้างสารเจือ (Dopant) บนซิลิกอนเวเฟอร์ในการผลิตไมโครชิพ RFID โดยกระบวนการเจือสารด้วยเทคนิคการยิงฝังประจุ มี 3 ขั้นตอนคือ 1. กระบวนการยิงฝังประจุ 2. กระบวนการแอนนีล และ 3. กระบวนการวิเคราะห์

<u>4.1.3.1 กระบวนการยิงฝังประจุ</u>

- มีการตั้งค่ากระแสไอออน (ion beam current) ด้วยการปรับเงื่อนไขดังต่อไปนี้ คือ กระแสจ่ายแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก (source magnet current) กระแสอาร์ค (arc current) การไหลของก๊าซ (gas flow) และ กระแสฟิลาเมนต์ (filament current)

เลือกชนิดของไอออนโดยตั้งค่า AMU (Atomic Mass Unit)

ควบคุมและเลือกค่าพลังงานโดยการควบคุม ขั้วแอคเทรคชั่น (extraction electrode) และ ท่อเร่ง (acceleration tube) ในช่วงพลังงาน 10-200 keV

ตั้งค่าปริมาณสารเจือ (dose) โดยการควบคุมค่ากระแสไอออนและเวลาในการเจือสาร

<u>เครื่องยิงฝังประจุกระแสขนาดกลาง (Medium Current Ion Implanter)</u>

รุ่น NISSIN NH-20SR เป็นเครื่องจักรที่ใช้สำหรับสร้างสารเจือในกระบวนการผลิตสารกึ่งตัวนำ ซึ่งติดตั้งพร้อมใช้งานภายในห้องสะอาดที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ โดยตัวเครื่องมีความสามารถดังนี้

- Energy range: 10 - 200 keV
- Scanned beam current:

(max.) 600 μA (B), 1,000 μA (P, As),

(min.) 50 nA

- Dose uniformity $\leq$ 1.5 %
- Dose repeatability $\leq$ 1 %
- Mass range: 3 - 125 AMU
- Mass resolution $\geq$100
- Throughput: 185 wafers/hour
- Tilt angle: 0 – 10^{o}
- Available wafer size: 6 inch

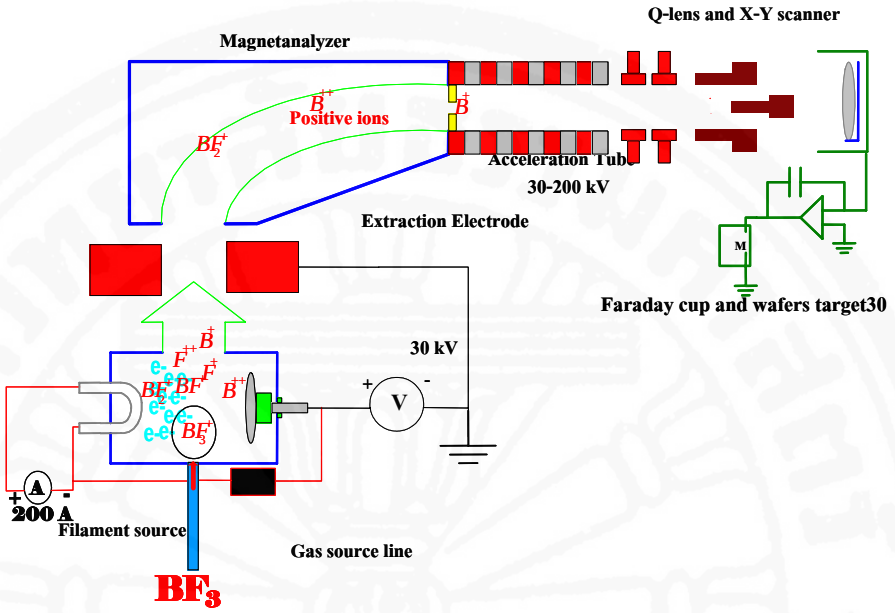
ภาพที่ 4.19

เครื่องยิงฝังประจุกระแสขนาดกลางรุ่น NISSIN NH-20SR

การทำงานของเครื่องยิงฝังประจุจะเริ่มจากการสร้างกลุ่มพลาสมาในส่วนท้ายของเครื่องที่เรียกว่า source chamber จากนั้นประจุบวกในกลุ่มพลาสมาจะถูกดึงออกมาด้วย extraction electrode ที่มีความต่างศักย์ 30 kV ชนิดของประจุจะถูกเลือกเมื่อเคลื่อนที่ผ่าน magnet analyzer และถูกเร่งต่อด้วยท่อเร่ง (acceleration tube) ได้ค่าความต่างศักย์ 30-200 kV หลังจากนั้น Q-lens ควบคุมขนาดลำประจุ และ X-Y scanner ควบคุมการเคลื่อนที่ลำประจุกวาดไปมาทั่วบนวัตถุเป้าหมาย

ภาพที่ 4.20

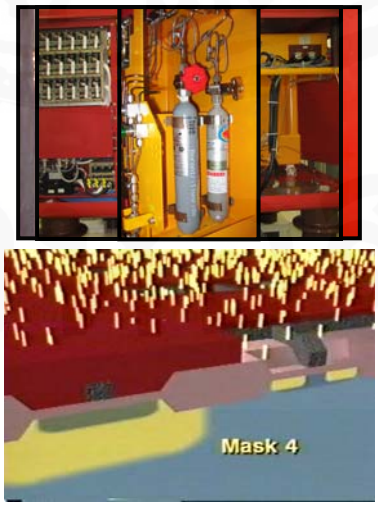
หลักการทำงานของเครื่องยิงฝังประจุ



กระบวนการยิงฝังประจุเป็นการสร้างสารเจือ ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการผลิตซีมอส และมีขั้นตอนการสร้างหลักๆ ดังนี้คือ N-well, P-well, APT, VTA, Poly- resistance, NLDD, PLDD, Ns/d และ Ps/d นอกจากนี้ยังมีการนำไปสร้างสารเจือในงานสร้างเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (MEMS) โดยสร้างตัวต้านทานโพลีซิลิคอน (Poly Resistor) ที่อยู่ภายในเซ็นเซอร์วัดความดัน

ภาพที่ 4.21

ภาพจำลองการยิงฝังประจุสารเจือ

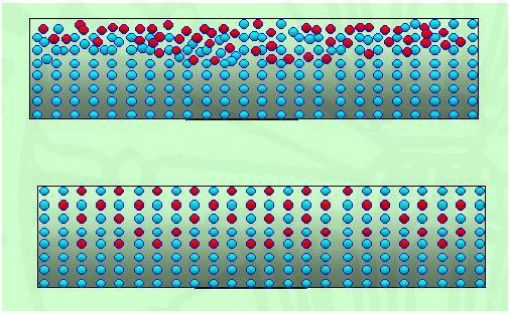


4.1.3.2 กระบวนการแอนนีล

หลังจากทำการยิงฝังประจุเสร็จแล้วบริเวณที่ถูกยิงฝังประจุจะมีการเปลี่ยนรูปจากโครงสร้างผลึกไปเป็นอสัญฐาน ซึ่งอะตอมสารเจือจะอยู่ภายนอก แลททิส (lattice) ของอะตอมที่ทำการเจือ เป็นเหตุให้ไม่นำไฟฟ้า ดังนั้นเราต้องทำการแอนนีลโดยให้อุณหภูมิในช่วง700 -1050 องศาเซลเซียส เพื่อ ซ่อมแซมโครงสร้างที่เสียหายและให้คืนกลับมาเป็นผลึกอีกครั้ง, ทำการกระตุ้นให้เป็นคุณสมบัติตัวนำทางไฟฟ้า

ภาพที่ 4.22

หลังการยิงฝังประจุ

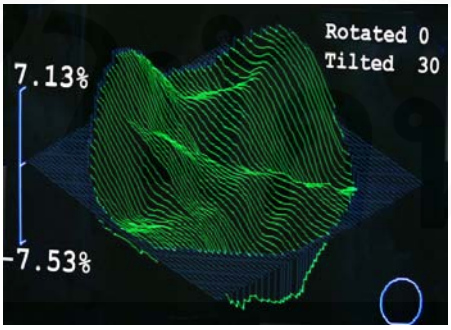


4.1.3.3 กระบวนการวิเคราะห์

หลังจากผ่านกระบวนการยิงฝังประจุ และ การแอนนีลแล้ว จะทำการวัดค่าความต้านทานเชิงแผ่น (sheet resistance) และค่ากระจายของความเข้มข้น (concentration profile) ด้วยเครื่องมือวัด fore point prob และ spreading resistance profiling (SRP) ตามลำดับ

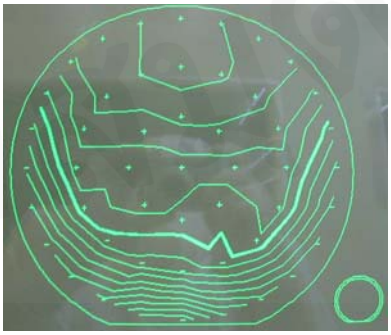
ภาพที่ 4.23

ความต้านทานเชิงแผ่นแบบ 3 มิติ



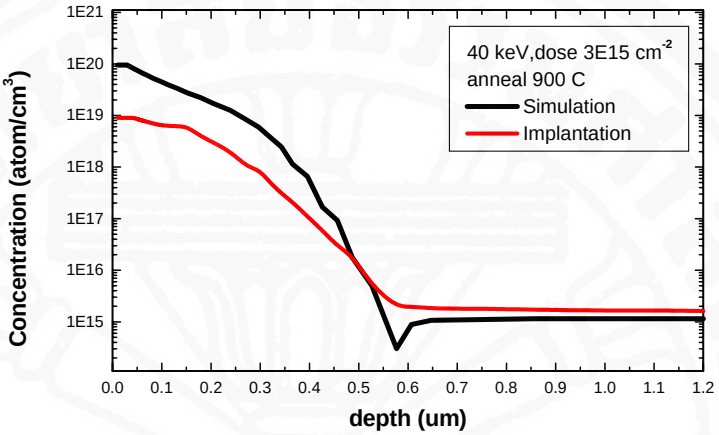
ภาพที่ 4.24

ความต้านทานเชิงแผ่นแบบ 2 มิติ



ภาพที่ 4.25

เปรียบเทียบการกระจายความเข้มข้นของสารเจือระหว่าง ผลของการวัด SRP ที่ได้จากการยิงฝังประจุกับผลของการจำลอง



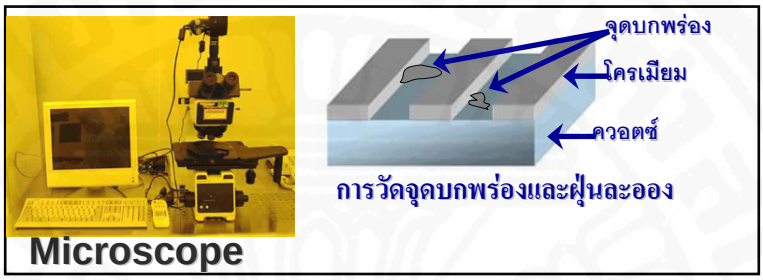
4.1.4 <u>การถ่ายแบบลวดลาย (Photolithography)</u>

กระบวนการถ่ายย่อแบบลายวงจรในการผลิตไมโครชิพ เป็นกระบวนการที่กำหนดลวดลายวงจรก่อนเข้าสู่กระบวนการกัดสาร (Etching) หลักการของกระบวนการถ่ายย่อแบบลายวงจรคือ ทำการฉายแสงจากเครื่องกำเนิดแสงผ่านกระจกต้นแบบ (Photomask) ลงบนแผ่นเวเฟอร์ที่เคลือบด้วยน้ำยาไวแสง (Resist) แล้วนำแผ่นเวเฟอร์ไปล้างด้วยน้ำยาล้างลาย (Developer) ฟิล์มไวแสงเฉพาะส่วนที่โดนแสงจะหลุดออก ทำให้เวเฟอร์บางบริเวณมีฟิล์มปิด บางบริเวณไม่มีฟิล์มปิด ส่วนที่มี/ไม่มี ฟิล์มปิดนี้คือลวดลายชั่วคราวเหนือผิวเวเฟอร์ เมื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตขั้นถัดไป เช่น การกัดสารบริเวณที่ไม่มีฟิล์มปิดจะถูกสารเคมีกัดเนื้อของเวเฟอร์ออก แต่ผิวของเวเฟอร์ที่มีฟิล์มปกป้องจะคงอยู่ หลังจากขจัดฟิล์มไวแสงทั้งหมดออก(Stripping) เกิดเป็นลายถาวรบนเวเฟอร์

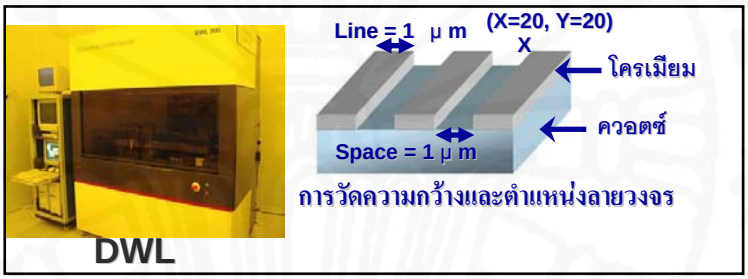
กระบวนการถ่ายแบบลวดลายโดยภาพรวมเป็นดังนี้

ภาพที่ 4.26
กระบวนการถ่ายแบบลวดลายจากกระจกต้นแบบ

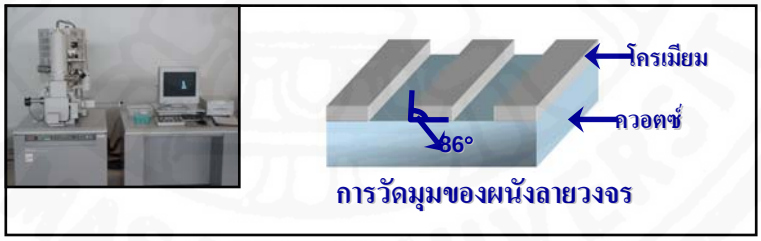
1.



2.



3.



รายละเอียดหลักในการถ่ายทอดแบบเป็นดังนี้

4.1.4.1 กระจกต้นแบบ (Photomask) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในการสร้างไมโครชิพ ใช้เป็นต้นแบบสำหรับการถ่ายย่อแบบลายวงจรลงบนแผ่นซิลิคอน ผลิตจากแก้วควอตซ์ที่มีความบริสุทธิ์สูง เคลือบด้วยฟิล์มบางโครเมียมและโครเมียมออกไซด์ มีความเรียบของพื้นผิวตลอดทั้งแผ่นในระดับหนึ่งในล้านส่วนของมิลลิเมตร เพื่อลดผลกระทบจากการสะท้อน และการหักเหของแสง และไม่มีการขยายตัวทางความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ลายวงจรมีขนาดเปลี่ยนไปการสร้างลายวงจรลงบนแผ่นกระจกต้นแบบจะต้องออกแบบลายวงจรอย่างรอบคอบ และใช้กระบวนการถ่ายแบบลายวงจร (Photolithography Process) ที่มีความซับซ้อน

ในการสร้างลายวงจร สามารถสร้างลายวงจรลงบนแผ่นกระจกต้นแบบ โดยใช้เครื่อง Direct Write Laser (DWL) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ขนาดชิ้นงาน : กระจกต้นแบบ, แผ่นซิลิคอนขนาด 3-6 นิ้ว หนา 0.06-0.25 นิ้ว
รูปแบบข้อมูล : CIF, GDS2, Gerber, DXF
ขนาดลายวงจรที่เล็กที่สุด : 1 ไมครอน ที่ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10 %
ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง : 0.050 ไมครอน ที่ความละเอียด 0.001 ไมครอน
จำนวนจุดบกพร่อง : น้อยกว่า 10 ชิ้น ต่อตารางนิ้ว ที่ขนาดมากกว่า 0.5 ไมครอน

4.1.4.2 การฉายแสง (Stepper) เครื่องถ่ายย่อแบบลายวงจรด้วยเครื่อง DWL (Direct Write Laser) มีความละเอียดในการถ่ายย่อแบบได้เล็กที่สุด 0.5 ไมครอน สามารถถ่ายย่อขนาดลายวงจรจากกระจกต้นแบบให้เล็กลง 1/5 เท่า

4.1.4.3 การเคลือบน้ำยาไวแสง/ล้างน้ำยาไวแสง (Photoresist Coater/Developer) เครื่องเคลือบน้ำยาไวแสงใช้ในการเคลือบน้ำยาไวแสง ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกันปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการกัดหรือกระบวนการยิงฝังประจุ และเครื่องล้างน้ำยาไวแสง ในการล้างน้ำยาไวแสงฟิล์มไวแสเฉพาะส่วนที่โดนแสงจะหลุดออก ทำให้เกิดเป็นลวดลายบนแผ่นเวเฟอร์

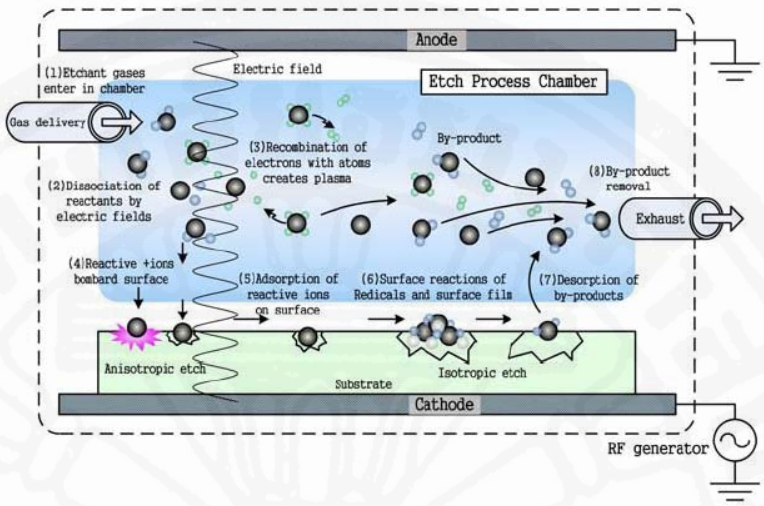
4.1.5 การกัด (Etching)

ในการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์หลังจากการสร้างลวดลายชั่วคราวด้วยกระบวนการถ่ายย่อแบบ ชิ้นงานจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการกัดเพื่อให้ได้ลวดลายที่ถาวร ปัจจุบันนี้ลวดลายวงจรมีขนาดเล็กมาก เพื่อให้ได้ลวดลายที่มีความถูกต้องและสมบูรณ์ จึงต้องใช้กระบวนการกัดที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะมีวิธีการหลักๆ อยู่ 2 แบบ ดังนี้

4.1.5.1 การกัดด้วยพลาสมา(Dry Etch) ในกระบวนการนี้จะมีการกำเนิดพลาสมาที่ความดันต่ำโดยใช้แหล่งจ่ายกระแสสลับย่านความถี่วิทยุ 13.56 เมกะเฮิรตซ์ พลาสมาที่เกิดขึ้นจะมีไอออนบวกและลบ ไอออนบวกจะกระจายตัวไปทำปฏิกิริยากับพื้นผิวของชั้นฟิล์มที่ต้องการกำจัดออก ในกระบวนการนี้จะเกิดทั้งปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์

ภาพที่ 4.27

ภาพจำลองกระบวนการกัดโดยใช้พลาสมา



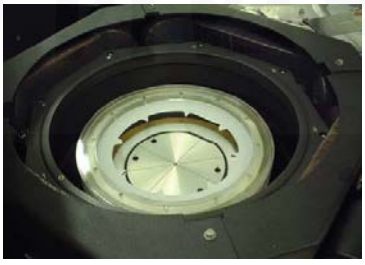
ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องจักรที่ใช้มีความสามารถกำเนิดพลาสมาที่มีความหนาแน่นสูง นอกจากนี้แล้วเครื่องดังกล่าวมี การสร้างสนามแม่เหล็กเพื่อช่วยในการควบคุมการกัดให้ดียิ่งขึ้น สำหรับการผลิตวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์ขนาดจิ๋วที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ผลิตนั้น เครื่องจักรที่ใช้ในการกัดฟิล์มให้เกิดเป็นลวดลายมี 2 เครื่อง คือ เครื่องกัดฟิล์มออกไซด์ และเครื่องกัดฟิล์มโพลี

<u>เครื่องกัดฟิล์มออกไซด์ (Oxide Etcher)</u>

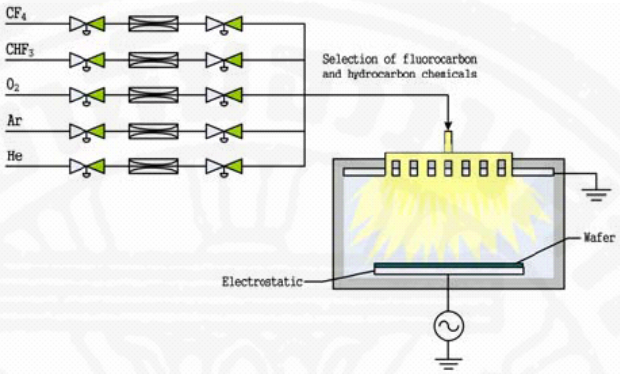
กระบวนการกัดของเครื่องกัดชนิดนี้ ใช้ก๊าซที่เป็นสารประกอบของคาร์บอนกับฟลูโอไรด์ สำหรับกัดฟิล์ม ซิลิคอนไดออกไซด์ และซิลิคอนไนไตรด์ ในกระบวนการกัด ก๊าซดังกล่าวจะถูกป้อนเข้าไปยังห้องสุญญากาศ และเกิดการแตกตัวเป็นไอออนของฟลูออไรด์หลายชนิดที่มีความไวในการเกิดปฏิกิริยาสูง ไอออนดังกล่าวจะไปทำปฏิกิริยากับชั้นฟิล์มเกิดเป็นสารประกอบที่อยู่ในสถานะก๊าซซึ่งสารดังกล่าวเป็นของเสียที่ดูดออกจากห้องสุญญากาศ

ภาพที่ 4.28

ห้องสุญญากาศ



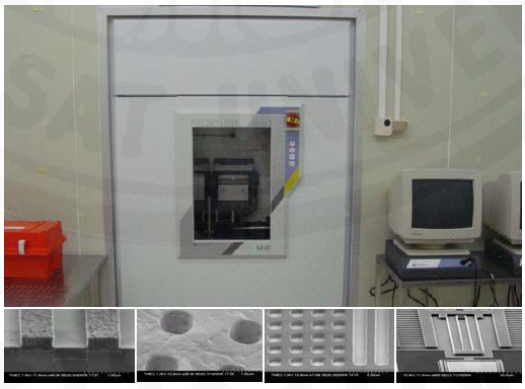
ภาพที่ 4.29
ระบบก๊าซสำหรับเครื่องกัดฟิล์มออกไซด์



<u>เครื่องกัดฟิล์มโพลี (Poly Etcher)</u>

สำหรับการกัดชั้นฟิล์มโลหะและโพลีซิลิคอน ก๊าซที่ใช้แตกต่างจากก๊าซที่ใช้กัดชั้นฟิล์มฉนวน โดยการกัดชั้นฟิล์มโพลีซิลิคอนจะใช้ก๊าซที่มีส่วนผสมระหว่างก๊าซคลอรีนกับก๊าซที่ประกอบด้วยธาตุโบรไมน์ ส่วนการกัดชั้นฟิล์มโลหะจะใช้ก๊าซคลอรีน แต่กัดชั้นฟิล์มอลูมิเนียมจะเพิ่มก๊าซโบรอนคลอไรด์เข้าไปในระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการกัด

ภาพที่ 4.30
เครื่องกัดชั้นฟิล์มซิลิคอน



4.1.5.2 <u>การกัด/ล้างด้วยสารละลายเคมี (Wet Etch/Cleaning)</u> ในงานการผลิตอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ การควบคุมสารปนเปื้อนเป็นกระบวนการสำคัญที่ต้องใช้ความละเอียดอ่อน ด้วยเหตุที่ตัวอุปกรณ์ที่ผลิตนั้นมีขนาดเล็กมาก เพื่อเป็นหลักประกันในผลสำเร็จของ

งาน เครื่องกัดล้างด้วยสารละลายเคมีที่ติดตั้งในศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) ใช้สำหรับกำจัดสิ่งปนเปื้อน หรือกัดลอกชั้นฟิล์มบนพื้นผิวของแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์โดยมีประโยชน์ของเครื่องกัดล้างด้วยสารละลายเคมีคือ

1. เพื่อเป็นการล้างและลดความเข้มข้นหลังการใช้สารเคมีในการทำความสะอาดเพื่อไม่ให้เกิดสารเคมีตกค้าง
2. ช่วยในการล้างสิ่งเจือปนที่ตกค้างที่สารเคมีไม่สามารถล้างหรือล้างไม่หมดได้
3. เป็นเสมือนตัวช่วยให้การใช้สารเคมีหลักมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

<u>สารละลายเคมีสำคัญใช้ทำความสะอาดแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ประกอบด้วย</u>

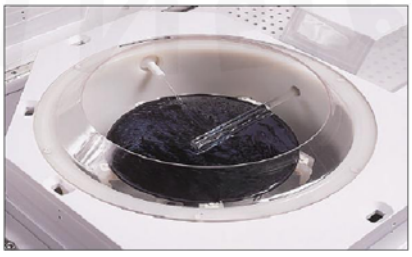
- Piranha ประกอบด้วย H_2SO_4 และ H_2O_2 ใช้กำจัดสารปนเปื้อนจำพวกสารอินทรีย์
- HF ใช้กำจัดสารปนเปื้อนจำพวกโลหะ ออกไซด์
- BHF ใช้กำจัดสารปนเปื้อนจำพวกซิลิคอนไดออกไซด์
- Standard Cleaning 1 (SC-1) ประกอบด้วย NH_4OH, H_2O_2 และ H_2O ใช้กำจัดสารปนเปื้อนจำพวกฝุ่นละออง โลหะ
- Standard Cleaning 2 (SC-2) ประกอบด้วย HCl, H_2O_2 และ H_2O ใช้กำจัดสารปนเปื้อนจำพวกฝุ่นละออง สารอินทรีย์
- HOT Phos ใช้กำจัดสารปนเปื้อนจำพวกซิลิคอนไนไตรด์

<u>ประเภทของเครื่องกัดล้างด้วยสารละลายเคมี มีดังนี้</u>

1. <u>Megasonics Cleaning</u> ใช้ร่วมกับ SC-1 โดยใช้คลื่นความถี่เสียงใกล้เคียง 1 MHz เป็นกระบวนการทำความสะอาดโดยใช้อุณหภูมิต่ำ (30-80 $^{\circ}C$) ขนาดอนุภาคจะถูกล้างออกโดย SC-1 เป็นสารเคมีหลักที่ใช้ทำการกัดสารเคมีบนพื้นผิวร่วมกับ Megasonic Cleaning ซึ่งเป็นตัวช่วยสร้างแรงสั่นที่เกิดจาก Megasonic transducer ทำให้เกิดพลังงานและพลังงานที่เกิดนั้นจะช่วยให้ สารปนเปื้อนที่ติดอยู่บนพื้นผิว Wafer หลุดออกง่ายขึ้น

ภาพที่ 4.31

Megasonics Cleaning



2. Wafer Brush Scrubber คือการใช้แปรงขัดช่วยในการกำจัด Particle ออก ถูกใช้หลังจากกระบวนการ Planarization ซึ่งสามารถกำจัด Particle 1 μm หรือเล็กกว่า ปัจจุบันใช้ Polyvinyl alcohol (PVA) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดี ด้านความนุ่ม,ด้านแรงกดอัดและวัสดุเหมือนฟองน้ำ ซึ่งสามารถกำจัด Particle ให้ออกจาก Wafer ได้ Brush Scrubber เหมาะใช้กับ Double-Side คือให้ Wafer เลื่อนเข้ามาโดยมีแปรงประกบอยู่ทั้งสองข้างทั้งบนและล่าง ใช้ที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีเคมีที่เป็นพิษ ใช้ DI-water Spray ขณะที่กำลังแปรง

3. Wafer Rinse จุดประสงค์ของการ Rinse คือการกำจัดสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการล้างไม่ให้ติดอยู่บนแผ่น Wafer หลักๆมีวิธีการ ดังนี้

- Over Flow Rinse เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันมายาวนานใน DI-water rinse น้ำจะ Flow ผ่านรอบๆ wafer กระบวนการ Overflow rinse ช่วยนำสิ่งเจือปน และสารเคมี ออกจากพื้นผิว wafer แต่การ rinse ในลักษณะนี้จะสิ้นเปลืองน้ำ DI มาก

- Dump Rinse น้ำ DI จะถูก spray ลงไปขณะที่เติมน้ำไปจนถึงระดับที่กำหนดและเปิดถังอย่างรวดเร็วทำกระบวนการนี้ซ้ำหลายครั้ง เราจะ Flow ไนโตรเจนเพื่อให้เกิดฟองก๊าซกำจัดสารเจือปนออกด้วย

- Spray Rinse กระบวนการนี้เราจะใช้ร่วมกันกับ Wafer Cleaning และ Drying ใช้แรงของน้ำขจัดสารเคมีที่เหลืออยู่บนพื้นผิว wafer

- Hot DI Water Rinse จะใช้อุณหภูมิ DI-Water ประมาณ 60 องศา ข้อดีคือสามารถกำจัดสารเคมีที่หลงเหลือและเพิ่มประสิทธิภาพของ Dry Wafer ถึงแม้ว่าการวิจัยจะพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นสร้างปัญหาในการ Etching พื้นผิวซิลิกอน ทำให้พื้นผิวไม่เรียบวิธีนี้นิยมใช้กับขั้นตอนหลังจาก Piranha Clean หรือ SC-1 Clean

4. Wafer Drying การล้างแผ่น Wafer จะประกอบด้วยกระบวนการที่ใช้น้ำและน้ำที่เหลือสามารถเกาะอยู่บน Wafer การยอมให้น้ำแพร่กระจายลงไปในหลุมหรือ Pattern เรียกว่า Hydrophilic Surface ในกระบวนการผลิตไมโครชิพไม่ต้องการให้มีน้ำหลงเหลืออยู่หรือน้ำไม่เกาะบนพื้นผิวเรียกว่า Hydrophobic Surface จึงใช้กระบวนการ Drying เป็นตัวกำจัดน้ำที่เหลือ มีวิธีหลักๆ คือ 1. Spin Dryers ถูกใช้กันอย่างกว้างขวางในอดีต ใช้การหมุนด้วยความเร็วสูงเป็นตัวขจัดความชื้นขณะที่ Wafer ถูก Spray Heat Nitrogen ปัญหาคือยากที่จะกำจัดความชื้นในหลุมและสร้าง Contaminate จากเครื่องเนื่องจากการหมุนด้วยความเร็วสูงจะเป็นการดึงดูด Particle 2. IPA Vapor Dry จะแทนที่น้ำด้วยไอร้อนของ Isopropyl alcohol(IPA) วิธีนี้จะมี Contaminate ที่เกิดจาก Particle น้อยแต่ต้องควบคุมความ บริสุทธิ์ของ IPA เมื่อจบกระบวนการ IPA ก็จะระเหย

4.2 การวิเคราะห์ลักษณะปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตชิพ RFID โดยใช้วิธีการวิเคราะห์กระบวนการของหน่วยงาน (Process based analysis)

ผลการวิเคราะห์ลักษณะปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตชิพ RFID ด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์กระบวนการของหน่วยงาน (Process based analysis) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ลำดับ ดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ลำดับขั้นตอนของศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Company Flow Diagram)

การวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ 1. ส่วนที่ควบคุมได้โดยตรงนั้นทางศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) สามารถควบคุมได้ด้วยตนเอง พิจารณาในรูปของ ปัจจัยนำเข้า (Input) กระบวนการผลิต (Process) และปัจจัยนำออก (Output) 2. ส่วนที่ควบคุมทางอ้อม ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1

ผลการวิเคราะห์ลำดับขั้นตอนของบริษัท (Company Flow Diagram)

ควบคุมทางอ้อม	**ควบคุมโดยตรง**			**ควบคุมทางอ้อม**
	ปัจจัยนำเข้า (Input)	**กระบวนการผลิต (Process)**	**ปัจจัยนำออก (Output)**	
- ผู้ขาย - ผู้รับเหมา - ผู้รับจ้าง - ผู้ส่งมอบ	- แผ่นเวเฟอร์ - น้ำ - ไฟฟ้า - ก๊าซ - สารเคมี - ความร้อน - เครื่องมือในแต่ละกระบวนการ - พลังงาน	**กระบวนการผลิตใน TMEC**	- ชิพ RFID - ของเสีย - อากาศเสีย - น้ำเสีย - เคมีส่วนเกิน - ความร้อน - ฝุ่นละออง - ไอระเหยเคมี - เศษวัสดุ	- ผู้ซื้อ - ผู้ใช้ - การนำไปใช้ใหม่ - การนำไปแปรรูปใหม่ - การทำลาย - การบำบัดของเสีย

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ลำดับขั้นตอนของแผนก (Department Flow Diagram)

การวิเคราะห์ในลำดับแผนกมีกิจกรรมและขั้นตอนอย่างไรบ้าง ในศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) ประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลักๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.2

ผลการวิเคราะห์ลำดับขั้นตอนของแผนก (Department Flow Diagram)

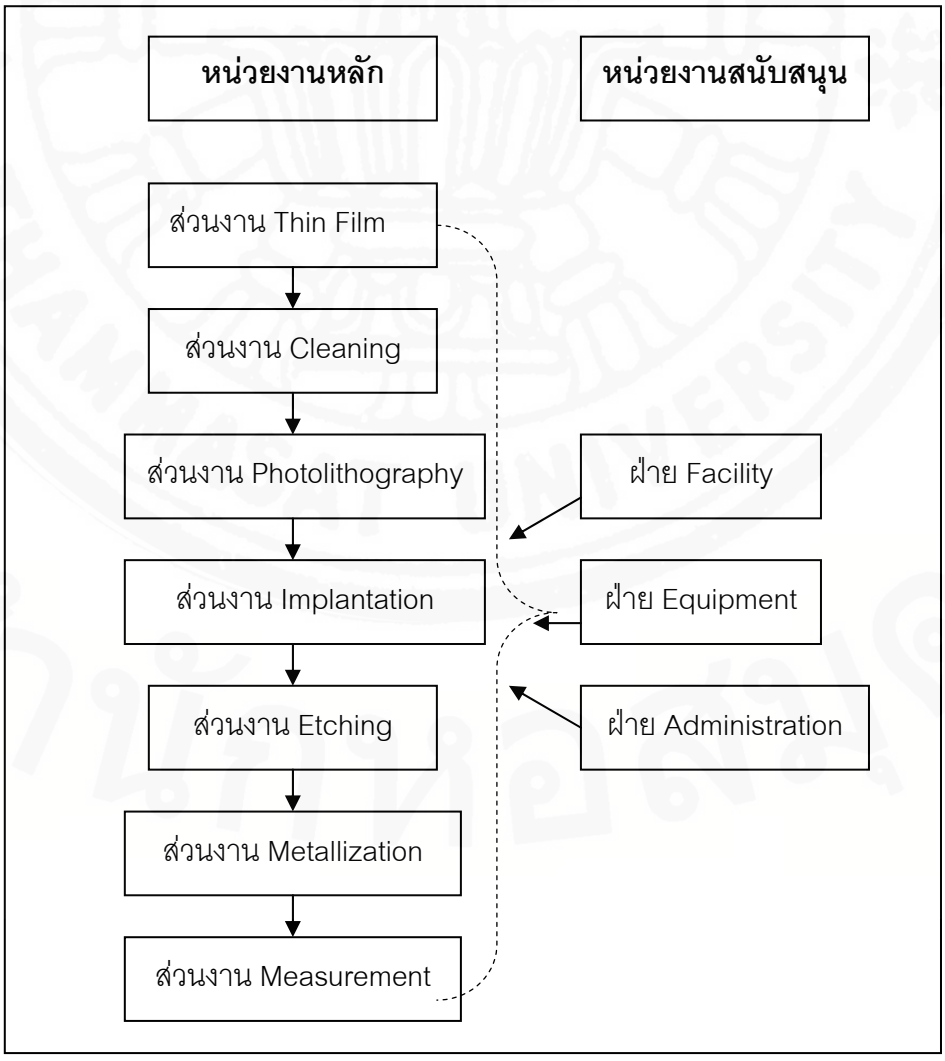
1. Facility	2. Equipment	3. Process	4. Administration
-โครงสร้างระบบบำบัดต่างๆ -กระบวนการจัดเก็บอย่างเกิดประสิทธิภาพ -เตรียมการบำบัดจากทุกส่วนทุกหน่วยงาน	-ซ่อมแซมเครื่องมือต่างๆ ในกระบวนการผลิต -ตรวจสอบความพร้อมในอุปกรณ์ทุกประเภท	-ส่วนงาน Thin film -ส่วนงาน Cleaning -ส่วนงาน Photolithography -ส่วนงาน Implantation -ส่วนงาน Etching -ส่วนงาน Metallization -ส่วนงาน Measurement	-ส่วนงานบุคคล -ส่วนงาน Support -ส่วนงานธุรการ -ส่วนงานบัญชี -ส่วนงานประชาสัมพันธ์ต่างๆ

ซึ่งในกระบวนการผลิตจะประกอบไปด้วยหน่วยงานหลักและสนับสนุนโดยสามารถแบ่งแผนกในแต่ละส่วนของงาน เป็นหน่วยงานหลักได้ 7 แผนก คือ ส่วนงาน Thin film, ส่วนงาน Cleaning, ส่วนงาน Photolithography, ส่วนงาน Implantation, ส่วนงาน Etching, ส่วนงาน Metallization และ ส่วนงาน Measurement สำหรับหน่วยงานสนับสนุนมี 3 หลัก คือ ฝ่าย Facility, ฝ่าย Equipment และ ฝ่าย Administration ซึ่งจะเป็นส่วนที่ช่วยเหลือเกื้อกูลกันให้เกิด

ความสำเร็จในการผลิตไมโครชิพ ดังนั้นลำดับขั้นตอนของหน่วยงานหลักในกระบวนการผลิตจะเริ่มต้นจาก

1. ส่วนงาน Thin film
2. ส่วนงาน Cleaning
3. ส่วนงาน Photolithography
4. ส่วนงาน Implantation
5. ส่วนงาน Etching
6. ส่วนงาน Metallization
7. ส่วนงาน Measurement

ภาพที่ 4.32
ลำดับขั้นตอนของแผนก



4.2.3 ผลการวิเคราะห์กระบวนการ (Process Flow Diagram)

ผลการวิเคราะห์กระบวนการผลิตสามารถแสดงได้จากตารางดังนี้

4.2.3.1 การเตรียมห้องสะอาดสำหรับผลิตชิพ (Clean Room)

ตารางที่ 4.3
ผลการวิเคราะห์กระบวนการเตรียมห้องสะอาด

Input	Process	Output
- พื้นที่ภายใต้ระบบปิด - อุณหภูมิ 22 °C - ความชื้นสัมพัทธ์ 45% - อัตราการไหลของอากาศ 0.35 m/s - แรงดันไฟฟ้าสถิต < 50 V - ความดัน 101,579 Pa - แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง (Ultra Filter) ซึ่งสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.12 ไมครอนได้ถึง 99.9999 % - แผ่นตะกั่วกั้นรังสี	การเตรียมห้องสะอาดสำหรับผลิตชิพ ทุกแผนก ทุกส่วน	- ฝุ่นเกิน 1000 อนุภาคเล็กน้อย - อากาศถ่ายเท 0.35 m/s - ปราศจากอนุภาคส่วนเกินที่ไม่ต้องการ - อุณหภูมิพอเหมาะ 22-25°C และประหยัดค่าใช้จ่าย -พลังงานความร้อนที่ใช้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 1200°C อาจมีความร้อนแผ่ออกมาได้บ้าง -เกิดรังสี x ที่แผ่กระจายออกมาไม่เกิน 0.10% แต่ควบคุมด้วยแผ่นตะกั่ว

4.2.3.2 การปลูกฟิล์มบาง (Thin Film)

1. LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition)

ตารางที่ 4.4

ผลการวิเคราะห์กระบวนการปลูกฟิล์มบางแบบ LPCVD

Input	Process	Output
- แผ่นเวเฟอร์ - ความร้อน 500 – 700°C - ความดัน 200 mTor - dichlorosilane (SiH_2Cl_2) - ammonia (NH3) - silane - TEOS - Phosphine	ปลูกฟิล์มบางแบบ LPCVD แผนก Process ส่วน Thin Film	- ไอระเหยที่เกิดจากเคมีต่างๆ ไม่เกิน10% ทั้งหมด - เกิดฟิล์ม Polysilicon, Amorphous silicon, silicon dioxide และ silicon nitride - เกิดก๊าซ H_2,O_2< 4 M^3/hr - เกิดสารละลายของกรด เบส ที่ตกค้าง<7 M^3/dayแต่กำจัดโดยดูดลงท่อบำบัดกรด/ด่าง

2. Thermal oxide

ตารางที่ 4.5

ผลการวิเคราะห์กระบวนการปลูกฟิล์มบางแบบ Thermal Oxide

Input	Process	Output
- แผ่นเวเฟอร์ - O_2 - H_2O - ความร้อน 900 – 1100°C	ปลูกฟิล์มบางแบบ Thermal Oxide แผนก Process ส่วน Thin Film	- ได้ฟิล์ม SiO_2 - อาจมีความร้อนที่เกิน 1100°C บางส่วนผ่านออกมาได้แต่มีปริมาณเล็กน้อยมาก - เกิดก๊าซ H_2 ที่เข้าทำปฏิกิริยาไม่หมด

3. PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor)

ตารางที่ 4.6

ผลการวิเคราะห์กระบวนการปลูกฟิล์มบางแบบ PECVD

Input	Process	Output
- แผ่นเวเฟอร์ - ความร้อน < 400°C - RF Power =13.56 MHz - ห้องสุญญากาศ - พลาสมา - SiH_4 (gas) - N_2O (gas) - NH_3 (gas) - N_2 (gas)	ปลูกฟิล์มบางแบบ PECVD แผนก Process ส่วน Thin Film	- ฟิล์มบาง SiO_2 (s) - ฟิล์มบาง Si_3N_4 (s) - N_2 (gas) < 250 M^3/hr - H_2 (gas) < 0.8 M^3/hr

4. DC Magnetron Sputtering

ตารางที่ 4.7

ผลการวิเคราะห์กระบวนการปลูกฟิล์มบางแบบ Sputtering

Input	Process	Output
- แผ่นเวเฟอร์ - ห้องสุญญากาศ - Ar^+ - พลังงานที่ใช้ในการพุ่งชนค่อนข้างสูง ขึ้นกับความลึกของฟิล์มบางที่ต้องการ - แหล่งจ่ายพลังงาน DC (แบตเตอรี่)	ปลูกฟิล์มบางแบบ Sputtering แผนก Process ส่วน Thin Film	- อนุภาคฝุ่นเกินกว่า 1000 อนุภาคเล็กน้อย - ฟิล์มโลหะ Ti, TiN, Al-alloy

5. S.O.G (Spin on Glass)

ตารางที่ 4.8

ผลการวิเคราะห์กระบวนการปลูกฟิล์มบางแบบ S.O.G

Input	Process	Output
- แผ่นเวเฟอร์ - SOG Chemical = สารละลาย SiO_2 (x) + ketone (l) + Alcohol (l) + Aluminum + สารเจือสำหรับกระบวนการแพร่ + สารช่วยก่อตัวของแก้ว + สารช่วยจับตัว - Isopropyl Alcohol (IPA) (l)	ปลูกฟิล์มบางแบบ S.O.G. แผนก Process ส่วน Thin Film	- ฟิล์ม SiO_2 (s) - Isopropyl Alcohol (IPA) (l) ไม่เกิน 2 M^3/dayกำจัดโดยลงขวดที่เป็นของเสีย

4.2.3.3 <u>กระบวนการยิงฝังประจุ (Implantation)</u>

ตารางที่ 4.9
ผลการวิเคราะห์กระบวนการยิงฝังประจุ

Input	Process	Output
- แผ่นเวเฟอร์ - BF_3 (g) ใช้สำหรับสร้าง P-type ในวงจรรวม - PH_3 (g) ใช้สำหรับสร้าง N-type ในวงจรรวม - As (s) ใช้สำหรับสร้าง N-type ในวงจรรวม - กระแสไอออน (ion beam) เพื่อให้เกิดการแตกตัวของพลาสมา - กระแสจ่ายแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก (source magnet current) เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กขึ้นมา - กระแสอาร์ค - พลังงานที่ใส่เข้าไปอยู่ในช่วง 10 – 200 keV - อุณหภูมิความร้อนประมาณ 700 – 1050 องศาเซลเซียส ในการแอนนีล	กระบวนการยิงฝังประจุ การแอนนีล การวิเคราะห์ แผนก Process ส่วน Implantation	- เกิดคราบจากสารเคมีที่ตกค้าง < 1%เช็ดออกด้วย IPA เป็นขยะกำจัดทิ้ง - เกิดขยะจากก๊าซ BF_3 , PH_3 , As (s) ที่แตกตัวไม่หมด กำจัดโดยมีท่อดูดออกไป - มีการเผาไหม้เกิด H_2 <1 M^3/Hr - ได้แผ่นเวเฟอร์ที่เป็น N-type หรือ P-type - เกิดรังสีเอ็กซ์ขึ้นที่มากระทบแผ่นตะกั่วภายใน < 0.1%ของทั้งหมด ห้องปฏิบัติการแต่กรมรังสีมาตรวจทุกครั้งไม่พบความอันตรายเพราะสามารถควบคุมได้ - เกิดผลึกอะตอมที่มีการนำไฟฟ้า - เกิดความร้อนที่เกิน 1100°C เล็กน้อยที่เป็นส่วนเกินผ่านออกมา

4.2.3.4 การถ่ายแบบลวดลาย (Photolithography)

ตารางที่ 4.10
ผลการวิเคราะห์กระบวนการถ่ายแบบลวดลาย

Input	Process	Output
- แผ่นเวเฟอร์ - กระจกต้นแบบ (โครเมียม+ควอตซ์) - น้ำยาไวแสง (Resist) - น้ำยาล้างลาย (Developer) - ความร้อน - เครื่องฉายแสง DWL - น้ำ DI	กระบวนการถ่ายแบบลวดลาย แผนก Process ส่วน Photolithography	- แผ่นเวเฟอร์ที่เกิดลวดลายชั่วคราว - น้ำยาล้างลาย (Developer) เป็นด่าง < 5 M^3/day ดูดลงท่อกำจัดกรด/ด่าง - น้ำเสีย < 2 M^3/day - ตัวทำละลายอินทรีย์ < 5 M^3/day ถูกดูดกำจัดด้วยระบบบำบัด - ภาชนะปิด ที่ต้องส่งกำจัดโดยการเผา

4.2.3.5 การกัด (Etching)

ตารางที่ 4.11

ผลการวิเคราะห์กระบวนการกัด

Input	Process	Output
- แผ่นเวเฟอร์ที่เกิดลวดลายชั่วคราว - พลาสมา - ความดันต่ำ - คลื่นความถี่ - กระแสสลับย่านความถี่วิทยุ 13.56 MHz - ห้องสุญญากาศ - CF_4 (gas) - CHF_3 (gas) - O_2 (gas) - Ar (gas) - He (gas) - Cl_2 (gas) - BCl (gas) - Piranha (H_2SO_4, H_2O_2) - HF - BHF - SC-1 (NH_4OH, H_2O_2, H_2O) - SC-2 (HCl, H_2O_2, H_2O) - IPA - N_2 - PVA - DI water	กระบวนการกัด แผนก Process ส่วน Etching	- แผ่นเวเฟอร์ที่เกิดลวดลายถาวร - สารประกอบที่เกิดเป็นของเสียถูกดูดไปท่อบำบัด - กรด/ด่างที่เป็นส่วนเกิน <5 M^3/day ถูกดูดไปกำจัดในท่อ - น้ำเสีย < 1 M^3/day - IPA บางส่วนระเหยออกไปตามท่อดูดบำบัด

4.3 การวิเคราะห์ลักษณะปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์ (Tags)

Tags คือส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญในเทคโนโลยี RFID ซึ่งจะเป็นส่วนของการเก็บข้อมูลต่างๆ ซึ่งสามารถบอกได้ว่าสิ่งของที่ RFID Tags นี้ติดอยู่คือสินค้าอะไร และรวมถึงรายละเอียดต่างๆ ของสินค้านั้น บางครั้งอาจถูกเรียกว่า เครื่องรับส่งเรดาร์ (Transponder) หรือตัวเก็บข้อมูลที่ไม่ต้องการสัมผัส (Contactless data carriers) แถบ RFID สามารถวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักสำคัญได้ดังนี้

1. ชิพ หรือ ไมโครชิพ RFID ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลต่างๆ ที่เกิดขึ้น
2. เสาอากาศ ใช้ในการส่งข้อมูล
3. Packaging ใช้ในการห่อหุ้ม ออกแบบสวดสายในการประยุกต์ใช้งานต่างๆ

ตารางที่ 4.12

ผลการวิเคราะห์ลักษณะปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์ (Tags)

Tags	ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม
1.ชิพ	จากการประเมินข้างต้น
2.เสาอากาศ	
- ทองแดง	- ต้องใช้ความร้อนในการกำจัดสูง - ใช้เสียงดังในการผลิตและทำลาย
- แบตเตอรี่	- เป็นพิษหากสะสมนานๆ,เป็นอันตรายต่อดิน น้ำ อากาศ สูง
3.Packaging	
- กระดาษ	- เกิดการสิ้นเปลืองทัพยากรป่าไม้สูง - เกิดฝุ่นละออง ขี้เถ้าจากการทำลายมาก
- พลาสติก PVC , PE	- ย่อยสลายยาก,เป็นพิษหากมีการเผาไหม้หรือแม้แต่กลบฝังดิน
- แก้ว	- เมื่อกำจัดโดยเผาเกิดควันพิษแรง - ต้องใช้ความร้อนสูงในการกำจัด