นภดล จันทร์ปรุง

วิธีการตรวจสอบ AMC และการแสดงผล สำหรับห้องสะอาด ในอุตสาหกรรม SEMICONDUCTOR

บทนำ

ในการออกแบบห้อง cleanroom ที่ใช้ในอุตสาหกรรม semiconductor เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมของคุณภาพอากาศภายในห้อง ให้มีผลกระทบต่อผลผลิตน้อยที่สุดและป้องกันความปลอดภัยต่อคนงาน หนึ่งในปัจจัยภายนอกที่ต้องพิจารณาคือ โมเลกุลของอากาศที่ปนเปื้อน (Airbone Motecular Contaminates) ; AMC ซึ่งจะมีทั้งฝุ่นละออง ไอน้ำ ความชื้น แก๊สกัดกร่อน และอื่นๆ ในสภาพที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในที่นี้จะขอกล่าวในส่วนที่เป็นแก๊ส ซึ่งจะเรียกว่า AMC

ปัญหาที่สำคัญที่สุดไม่ได้อยู่ที่ระดับปริมาณของAMC แต่อยู่ที่การตรวจวัดอย่างถูกต้องตามมาตรฐานและการควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานนั้นๆ

ในบทความนี้ได้กล่าวถึงการตรวจสอบแก๊สกัดกร่อน (Corrosion Gas) ที่ปนเปื้อนในอากาศในห้อง Cleanroom ที่จะมีผลกระทบต่อผลผลิต การจัดการต่อสภาพแวดล้อมในห้อง Cleanroom เพื่อควบคุม AMC รวมถึงการจัดเตรียมข้อมูลในระยะสั้น ระยะยาว และวิเคราะห์ระดับของ AMC ที่ยอมรับได้และเกิดผลกระทบน้อยที่สุด ส่วนใหญ่ผู้ผลิต Semiconductor ทราบว่า ส่วนประกอบทางอิเล็กโทรนิคและอุปกรณ์ไฟฟ้าจะถูกทำลาย ถ้าพวกมันต้องสัมผัสต่อ AMC อย่างไรก็ตามห้อง Cleanroom สมัยใหม่ไม่ได้ถูกออกแบบเหมือนเดิม ได้ถูกออกแบบเพื่อป้องกันและควบคุม gas-phase chemical contamination เช่น SO_2, NOX, HCl, HF, NH_3 และ gases อินทรีย์ ดังนั้นอุตสาหกรรม semi conductor จะต้องเข้าใจถึงผลเสียของ AMC ชนิดต่างๆ และปริมาณของ AMC ที่มีอยู่ในขบวนการผลิต semiconductor และต้องคำนึงถึงการเพิ่มลดอุปกรณ์ในขบวนการผลิต และวิธีการผลิต ซึ่งจะมีผลในการเพิ่มและลดปริมาณของ AMC

ส่วนที่สำคัญที่จะมีผลในการเพิ่มและลดปริมาณของ AMC เกิดจากแหล่งกำเนิดภายในห้อง Cleanroom ประกอบไปด้วย

- ขบวนการผลิตและเครื่องมือ
- วัตถุดิบ
- gases, chemicals
- ฝ่ายผลิต
- วัสดุของโครงสร้างที่ใช้ในโรงงาน
- อากาศในห้อง cleanroom
- การระบายอากาศภายนอก

เครื่องมือตรวจสอบสภาวะอากาศ และเทคนิคในการตรวจสอบ

การตรวจสอบอากาศเป็นส่วนหนึ่งในโปรแกรมเพื่อรักษามาตรฐานของคุณภาพอากาศที่ขึ้นกับการมีอยู่ของสิ่งเจือปนของแก๊สในอากาศ(AMC) นอกจากนี้การกระทำโดยตรงต่อโปรแกรมควบคุมสิ่งเจือปนนั้น

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบสิ่งเจือปนในอากาศอาจจะอยู่นำมาไว้สำหรับหาค่าแนวโน้มของคุณภาพอากาศในระยะยาวในโรงงาน และ เพื่อออกแบบ ศึกษาค้นคว้าในการหาความสัมพันธ์ ระหว่างระดับของสิ่งเจือปนต่อผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ การวัดระดับคุณภาพของอากาศในห้องการผลิต semiconductor จะต้องเป็นไปตามข้อบังคับการใช้เครื่องมือตรวจสอบและวิธีการ ซึ่งข้อบังคับต่างๆต้องถูกนำมาใช้ดัดแปลงเทคนิคเพื่อให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมนั้นๆ

ปัจจัยในการเลือกวิธีการตรวจวัด ต้องถูกนำมาพิจารณาให้เหมาะสมซึ่งลักษณะดังกล่าวที่ต้องคำนึงถึงคือค่าความรู้สึก, ราคา และปัจจัยอื่นๆ; ค่าความรู้สึกที่ต้องการโดยเฉพาะสำหรับอุตสาหกรรม Semiconductor ที่ใกล้กับระดับปริมาณมลพิษที่พบและระดับการควบคุมขึ้นกับหนึ่งส่วนในล้านล้านส่วน (part per trillion ; ppt) ในทำนองเดียวกัน ราคาก็อาจเป็นปัจจัยที่สำคัญของการเลือกวิธีในการวัดและคุณภาพในการตรวจสอบที่ต้องการ

การตรวจสอบแก๊สโดยตรง

ในการตรวจสอบสารเคมีหรือแก๊ส AMC ด้วยอุปกรณ์อิเล็กโทรนิค ต้องตรวจระดับของการเจือปนได้แบบ Real-time ซึ่งผลตอบสนองจะเปลี่ยนแปลงเร็วมาก ซึ่งมีความสามารถในการตรวจวัดระดับสิ่งเจือปน วัดเป็น ppm และต้องวัดได้ในช่วงกว้างๆ และต่อเนื่องด้วย แต่ข้อเสียของการตรวจสอบแบบ Real-time นี่คือเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าเทคนิคการตรวจวัดแบบอื่น บางที่ปริมาณสิ่งเจือปนของ AMC อาจจะถูกตรวจสอบโดยการใช้เทคนิควิเคราะห์ที่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 1 เป็นจำนวนสารเจือปนต่างๆ และระดับ ซึ่งถูกตรวจสอบแบบ real-time

Table 1 Currently available real-time chemical/gas monitors

Contaminant	Concentration Range, ppb	Lower Detection	Response Time, Sec	Selectivity	Susceptibility to Interferences
Ammonia (NH_3)	0-200	1.0	900	Medium	Low
Formaldehyde (HCHO)	0-1000	0.2	300	High	Low
Hydrochloric (HCl)	0-200	1.0	900	Medium	High
Hydrogen sulfide (H_2S)	0-200	1.0	120	Medium	Low
Nitrogen oxides (NO_X)	0-200	0.1	90	NO-High, NO_2-Low	Low
Ozone (O_3)	0-1500	1.0	50	High	Low
Sulfur dioxide (SO_2)	0-200	0.1	120	High	Low
TVOC	0-20,000	20.0	120	Low	Low

การตรวจสอบปฏิกิริยาของแก๊ส AMC ในสภาพแวดล้อม

แม้ว่าจะเป็นไปได้ที่จะระบุค่าและปริมาณของชนิดของสารเคมีทั้งหมด ซึ่งต้องเจอในโรงงานอุตสาหกรรม Semiconductor แต่ก็ยังคงมีคำถามที่ว่า "แล้วเราจะทำอย่างไรกับข้อมูลที่ได้เหล่านี้" ถึงวันนี้ยังไม่มีการศึกษาใดๆ ที่ใช้ในการเตรียมข้อมูลเพื่อนิยามถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลกระทบระหว่างระดับของแก๊สที่เจือปนและความเสียหายที่มีต่ออุปกรณ์ semiconductor และภายในห้อง cleanroom

เนื่องจากสาเหตุนี้เองจำนวนของผู้ผลิตจึงได้หันมาจำแนกสภาพแวดล้อมตามสิ่งที่ถูกอ้างถึง ซึ่งก็คือ การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยา (หรือการกัดกร่อน) ซึ่งเทคนิคการตรวจสอบนี้ขึ้นกับความจริงที่ว่า จุดประสงค์ของการควบคุมสิ่งเจือปนทั้งหลาย เป็นการกัดกร่อนตามธรรมชาติ ดังนั้น สามารถที่จะถูกตรวจสอบได้ง่ายๆ ต่อการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยานี้

การตรวจสอบปฏิกิริยาสามารถที่จะจำแนกตามศักยภาพของการทำลายสภาพแวดล้อม อัตราการเพิ่ม

ขึ้นของการกัดกร่อนต่าง ๆ เกิดบนผิวเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ บน sensor ทองแดง, เงิน และทองคำที่ได้จัดเตรียมไว้ เพื่อเตรียมเรื่องการบ่งบอกอย่างดีของชนิดและระดับที่จำเป็นของชนิดสารเคมีที่กัดกร่อนในสภาพแวดล้อมปัจจุบัน ทั้งเรื่องการตรวจสอบปฏิกิริยาและการถูกกระทำ สามารถที่จะหาได้และเก็บเป็นข้อมูลที่สำคัญของค่า AMC และระดับสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้น

การจำแนกของระดับของการกัดกร่อน เราใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Corrosion Classfication Coupons; CCCs) แม้ว่ามีการพัฒนามานานในการจำแนกสภาพแวดล้อม สำหรับห้อง computer และห้อง control แต่ CCCs ก็ยังถูกใช้เพื่อบ่งบอกการมีอยู่ของสารประกอบพวก Chlorine และ Fluorine, ammonla และสารกัดกร่อนอื่น ๆ รวมไปถึง Ozone, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, hydrogen sulfide - ซึ่งทั้งหมดนี้ได้ถูกอ้างถึงจำนวนผลกระทบของกระบวนการความสัมพันธ์ของ AMC . CCCs โดยปกติประกอบด้วย Copper หรือ โลหะผสมของ Copper (ดังรูปที่ 1)

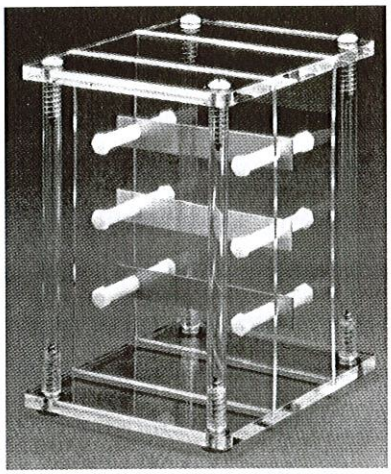

Figure 1 - Corrosion Classification Coupon

อย่างไรก็ตาม การศึกษาได้แสดงให้เห็นว่า copper coupons เป็นตัวบ่งชี้การกัดกร่อนของแก๊สในสภาพแวดล้อมที่ดี พวกมันไม่มีความรู้สึกไวเพียงพอต่อสิ่งเจือปนมากมายที่มีอยู่ทุกหนทุกแห่งในโรงงาน semiconductor ดังนั้น การใช้ CCCs ต่อการจำแนกสภาพแวดล้อม จึงได้มีการใช้ coupons ที่ทำด้วย Copper และ Silver

รายงานเรื่องการกัดกร่อนจากการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาด้วย CCCs เป็นผลรวมที่แท้จริงของแผ่นฟิล์มที่เกิดการกัดกร่อนในแต่ละแผ่น สำหรับ coupon ของ copper sulfide และ oxide ฟิล์ม เป็นผลที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป ซึ่งถูกรายงานว่าเป็น copper sulfide (Cu_2S) และ copper oxide (Cu_2O) ตามลำดับ สำหรับ coupon แบบ silver แผ่นฟิล์มของ sulfide, chloride และ oxide อาจถูกผลิตและอ้างเป็น silver sulfide (Ag_2S), Silver chloride (AgCl) และ Silver Oxide (Ag_2O) ตามลำดับแต่ละ coupon ถูกวิเคราะห์ด้วย cathodic หรือ electrolytic reduction ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของแผ่นฟิล์มที่มีอยู่

CCCs เป็นการตรวจสอบแบบถูกกระทำ (Passive Monitor) โดยทั่วไปต้องปล่อยให้อยู่ในสภาพแวดล้อมประมาณ 30-90 วัน coupon โลหะนั้น ๆ จะถูกวิเคราะห์และหาค่าเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมในเวลานั้น ๆ CCCs เป็นวิธีที่ใช้โดยทั่วไปในการหาแนวโน้มของคุณภาพอากาศทั้งภายในและภายนอกโรงงาน และแสดงถึงการสำรวจสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นส่วนของการพัฒนาโปรแกรมควบคุม AMC พวกมันยังถูกใช้เพื่อบอกความแตกต่างระหว่าง ระดับของสิ่งเจือปน และการประมาณความเข้มข้น ในอากาศของ AMC ด้วย

การตรวจสอบปฏิกิริยาของสภาพแวดล้อม (Environmental Reactivity Monitors; ERMs)

สิ่งหนึ่งที่ต้องเผชิญในการออกแบบโปรแกรมการตรวจสอบคุณภาพของอากาศ คือ ตัวเลือกของตัวอย่างของที่ถูกกระทำกับตัวอย่างของที่กระทำ การตอบสนองอย่างทันทีทันใด ของการตรวจสอบแบบกระทำ เป็นวิธีที่

ต้องการมากที่สุด และเป็นอะไรที่บอกถึงการใช้การตรวจสอบแบบถูกกระทำ ข้อจำกัดที่สำคัญของ CCCs คือการที่ไม่สามารถแบ่งระดับของสภาพแวดล้อมได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้ถูกพัฒนาให้ก้าวหน้าขึ้นด้วยการพัฒนา อุปกรณ์การตรวจสอบแบบ real-time ด้วยการใช้แผ่นเหล็ก quartz crystal microbalances (ดังรูปที่ 2)

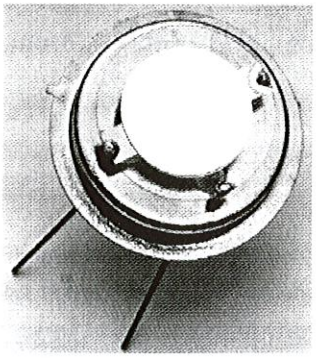

Figure 2 Quartz crystal microbalances

อุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ microprocessor นี้ สามารถวัดค่าการกัดกร่อนโดยรวมของสภาพแวดล้อมได้ซึ่งใช้ QCMs สามารถที่ติดตามและบันทึกการเปลี่ยนแปลงระดับของ AMC ในสภาพแวดล้อมที่ระดับ มากกว่า 1 ppb ซึ่งความสามารถนี้เป็นที่ต้องการอย่างมากสำหรับการตรวจสอบแบบ real-time ที่ใช้ในอุตสาหกรรม semiconductor

ในปัจจุบันนี้ มีเพียงอย่างเดียวที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ คือ ERM (รูปที่ 3) ที่ใช้ QCM แบบ copper, silver และ แผ่น gold ซึ่งจัดเตรียมข้อมูลแบบ real-time ที่เกี่ยวกับการกัดกร่อน ซึ่งได้จัดให้เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม semiconductor

Figure 3 Environmental reactivity monitor (ERM)

อุปกรณ์นี้สามารถทำงานได้อย่างอิสระโดยที่เชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์ส่วนกลางหรือ network ข้อมูลที่ตรวจสอบสามารถถ่ายทอดไปสู่เครื่อง PC ได้ เพื่อดูหรือ plot กราฟ ได้ ข้อมูลจะถูกส่งเป็นนาที เกี่ยวกับสารเจือปนที่สามารถกัดกร่อนได้

ปัจจัยที่สรุปให้ต่อไปนี้ เป็นค่า ERM ที่ควรตรวจสอบและความสำคัญของมันในการแบ่งแยกสภาพแวดล้อมในสภาพแวดล้อมของห้อง cleanroom ได้

- อัตราการกัดกร่อน รูปแบบของการกัดกร่อนเป็นค่าที่ใช้ในการบ่งบอกอย่างแรก ๆ ของการควบคุมสภาพแวดล้อมว่าควรทำอย่างไร ERMs ควรเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับระดับของการกัดกร่อนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สัมพันธ์เกี่ยวกับโครงการ
- อุณหภูมิและความชื้น อุณหภูมิและความชื้นที่เกิดขึ้นจริง ๆ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของพวกมัน มีผลอย่างมากต่อศักยภาพของสภาพแวดล้อมในอุตสาหกรรม semiconductor

การตรวจสอบแบบถูกกระทำและแบบ real-time ถูกใช้ในการกำหนดคุณลักษณะของอากาศภายนอกในงานปรับอากาศ การตรวจสอบปฏิกิริยาแบบ Real-time เคยใช้หาค่า AMC ในอุตสาหกรรม semiconductor เพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลกระทบระหว่างสิ่งเจือปนและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่ออุปกรณ์ semiconductor และภายในห้อง cleanroom ตัวอย่างของข้อมูลที่ได้รับต่อการตรวจสอบปฏิกิริยา แสดงใน Table 2 และรูปที่ 4-5

Table 2 CCC results for semiconductor fab, outside air monitoring

CCC No.	Location	Copper Corrosion				Silver Corrosion			
		Total	Cu_2S	Cu_2O	Cu-Unk	Total	AgCl	Ag_2S	Ag_2O
1	MUAH S-10	533	406	87	59	163	116	47	0
2	MUAH S-5	606	388	159	59	416	378	38	0
3	MUAH G-27	290	100	190	0	227	173	39	15
4	MUAH D-18	436	249	167	20	442	247	66	129

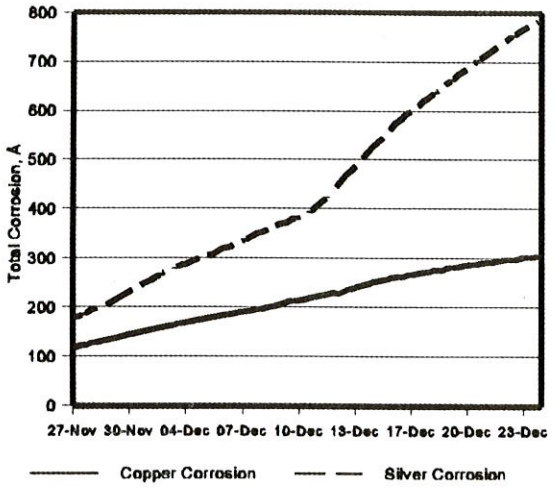

Figure 4 ERM data for outside air (Taiwanese semiconductor fab)

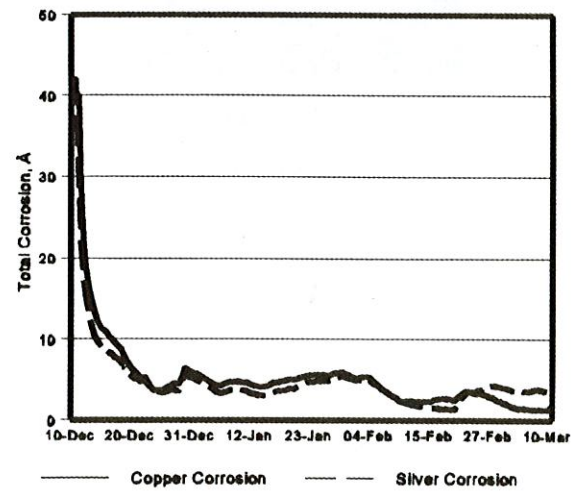

Figure 5 data for recirculation air (U.S. wafer manufacturer)

มาตรฐานอุตสาหกรรม

มาตรฐานของการควบคุม AMC มักขึ้นกับกลุ่มของสารเคมีเจือปน ซึ่งแบ่งตามชนิดของมัน ซึ่งไม่มีข้อตกลงโดยทั่วไป เกี่ยวกับระดับที่ยอมรับได้ของสารเคมีที่เจือปนอยู่ในอากาศ แต่ในช่วงหลายปีหลังสุด ช่วงของระดับดังกล่าวเริ่มแคบลง และมีแนวโน้มว่าจะใช้ช่วงนี้ต่อไปอีกหลายปี

ในมาตรฐานอุตสาหกรรมได้กำหนดค่าของสารเจือปน AMC ดังแสดงใน Table 3, 4 และ Table 5

Table 3 Projected chemical contaminant design criteria for current and future device geometries[18]

Contaminant Class	Semiconductor Design Geometry			
	0.25 μm	0.18 μm	0.13 μm	0.10 μm
VOC ($\mu g/m^3$)	30.0	10.0	3.0	1.00
Ionics ($\mu g/m^3$)	1.00	0.30	0.10	0.03
THC (ppb)	10.0	3.0	1.0	0.3
Metals (ppt)	0.10	0.03	0.01	0.00

Table 4 Defect prevention and elimination technology requirements[19] - AMC (pptM)

Year of First Product Shipment Technoloty Generation	1997 0.25 μm	1999 0.18 μm	2001 0.15 μm	2003 0.13 μm	2006 0.10 μm	2009 0.07 μm	2012 0.05 μm
Lithography-Bases (as amine)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Gate Formation-Metals	0.7	0.3	0.3	0.2	0.1	0.07	<0.07
Gate Formation-Organics	300	200	200	100	100	70	50
Salicidation/ Contact Foundation -Acids/Bases	10/80	10/40	10/30	10/20	10/10	10/4	10/<4

Table 5 Gaseous contaminant control specifications

Contaminant	Concentration (range)	
	ppb	$\mu g/m^3$
Ammonia	<1.44 - <14.40	<1 - <10
Boron	<2.26	<1
Chlorine	<0.35 - <3.50	<1 - 10
Hydrogen chloride	<1.22 - <12.23	<1 - <10
Hydrogen fluoride	<1.22 - <12.23	<1 - <10
Nitric oxide	-	-
Nitrogen dioxide	<1.59 - <3.19	<3 - <6
Ozone	<3.06	<6
Phosphate (as DOP)	<0.36	<1
Phthalate	<0.06	<1
Siloxane	<0.10	<1
Sulfur dioxide	<0.04 - <4.58	<0.1 - <12
VOCs	-	-

SEMI Standard F21-95

จุดประสงค์ของมาตรฐาน SEMI เป็นอีกมาตรฐานหนึ่งที่จำแนกค่าของ AMC ในอากาศเป็นค่าที่แบ่งแยกสภาพแวดล้อมที่สะอาดของอุปกรณ์อิเล็กโทรนิค ต่อระดับของ AMC การจัดลำดับของมาตรฐานเหล่านี้ ถูกใช้ในการกำหนดความสะอาดของสภาพแวดล้อมในอุตสาหกรรม semiconductor และการควบคุมสิ่งเจือปน และวัดความสามารถของอุปกรณ์การตรวจวัดมาตรฐานนี้ จะกำหนดค่าความเข้มข้นของ AMC ที่เป็น Acid, Bases, Condensables และ Dopants ตามสภาพแวดล้อม ดังแสดงใน Table 6

Table 6 SEMI F21-95 AMC classification method

Material Category	Semiconductor Design Geometry				
	1*	10*	100*	1,000*	10,000*
Acids	MA-1	MA-10	MA-100	MA-1,000	MA-10,000
Bases	MB-1	MB-10	MB-100	MB-1,000	MB-10,000
Condensables	MB-1	MB-10	MB-100	MB-1,000	MB-10,000
Dopants	0.10	0.03	0.01	0.00	

ISA Standard S71-04

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าความเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กโทรนิค เป็นไปได้ที่เกิดจากการกัดกร่อนของแก๊สที่เจือปนอยู่ การจัดระดับของการป้องกันให้กับอุปกรณ์อิเล็กโทรนิค โดยการใช้การตรวจสอบปฏิกิริยาของ CCCs และ ERMs ซึ่งถูกพัฒนาจาก Instrument Society of America (ISA) ตามมาตรฐาน S71.04-1985 ซึ่งได้แสดงใน Table 7

Table 7 Classification of reactive environments

Severity Level		G1	G2	G3	GX	
		Mild	Moderate	Harsh	Severe	
Copper Reactivity Level (in Å)		<300	<1,000	<2,000	≥2,000	
Gas Concentration (in ppb)						
Contaminant		Gas Concentration				
active environme	Group A	H_2S	<3	<10	<50	≥50
		SO_2, SO_3	<10	<100	<300	≥300
		Cl_2	<1	<2	<10	≥10
		NO_X	<50	<125	<1,250	>1,250
	Group B	HF	<1	<2	<10	≥10
		NH_3	<500	<10,000	<25,000	≥25,000
		O_3	<2	<25	<100	≥100

การควบคุมปริมาณ AMC

ขณะที่มาตรฐาน SEMI และ ISA จะแบ่งแยกโมเลกุลของสิ่งเจือปนในอากาศแต่ก็ไม่บอกถึงระดับความสะอาดของผลผลิตและความเชื่อถือที่ได้ในผลิตภัณฑ์ semiconductor แต่สมาคมอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ The semiconductor Industry Association's (SIA), Nation Technology Roadmap For semiconductors และ SEMATECHS Technology Transfer - 95052812A - TR ก็ได้เสนอค่าที่แนะนำที่ใช้ในการกำหนดค่าที่ยอมได้ของสิ่งเจือปน และยังได้กล่าวต่อไปว่าแนวโน้มของอัตราการเพิ่มขึ้นของสิ่งเจือปนจะเพิ่มขึ้นในอนาคต

วิธีการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมนี้ ถูกใช้โดยผู้ผลิต semiconductor จำนวนมาก การตรวจสอบปฏิกิริยาได้ถูกแนะนำ (ดัง Table 8) ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตรา

การกัดกร่อนต่อการแบ่งสภาพแวดล้อม และนี่ก็เป็นพื้นฐานของผลลัพธ์ของการทดสอบและระบุความต้องการของอุตสาหกรรม microeletronics โดยทั่วๆ ไป อัตราการกัดกร่อนของ silver และ copper ควรอยู่ใน class C2/S2 หรือดีกว่า

Table 8 Environmental classifications for semiconductor cleanrooms (proposed)

Copper Corrosion			Silver Corrosion		
Class	Air Quality Classification	Corrosion Amount	Class	Air Quality Classification	Corrosion Amount
C1	Extremely Pure	<90Å/30 days	S1	Extremely Pure	<40Å/30 days
C2	Pure	<150Å/30 days	S2	Pure	<100Å/30 days
C3	Clean	<250Å/30 days	S3	Clean	<200Å/30 days
C4	Slightly Contaminated	<350Å/30 days	S4	Slightly Contaminated	<300Å/30 days
C5	Polluted	≥350Å/30 days	S5	Polluted	≥300Å/30 days

แผ่นฟิล์มที่กัดกร่อนถูกระบุจำนวนเมื่อใช้ CCCs และสามารถบอกถึงสภาพของสภาพแวดล้อม และใช้ในการหากลยุทธ์ในการควบคุมแบบ AMC ได้ ถ้าจะยึดตามระดับการควบคุมที่แนะนำและผลทดสอบจากห้อง lab ผลของ CCCs ค่าที่ได้เหล่านี้จะถูกยอมรับ ค่าที่ได้ถูกรวมกับจำนวนที่กัดกร่อนทั้งหมด ตลอดจนความสัมพันธ์ของมันของแต่ละแผ่นฟิล์ม ค่าความหนาของแผ่นฟิล์มที่ใช้กันส่วนมากในอุตสาหกรรม semiconductor ถูกระบุใน Table 9

Table 9 General reactivity monitoring acceptance criteria for semiconductor cleanrooms

Silver Reactivity Acceptance Criteria		Silver Reactivity Acceptance Criteria	
Copper Corrosion Reaction Products	Corrosion Film Thickness	Copper Corrosion Reaction Products	Corrosion Film Thickness
Copper Sulfide, Cu_2S	<40Å/30 days	Silver Chloride, AgCl	<30Å/30 days
Coper Oxide, Cu2O	<100Å/30 days	Silver Sulfide, Ag2S	<50Å/30 days
Copper Unknowns	<20Å/30 days	Silver Oxide, Ag2O	<30Å/30 days
Total Copper Corrosion	<150Å/30 days	Total Copper Corrosion	<100Å/30 days

ขณะที่แผ่นกรองเคมีถูกนำมาใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นภายในของมลพิษของก๊าซให้มีค่าต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ อัตราการกัดกร่อนโดยราม (15-20 A/30 days) การตรวจสอบก๊าซแบบนี้บ่งบอกระดับของสิ่งที่เป็นพิษที่จะต้องควบคุม

ดังที่กล่าวมาแล้ว การตรวจสอบปฏิกิริยาด้วย CCCs และ ERMs เป็นการบอกถึงอากาศภายนอกเพื่อใช้ในการปรับอากาศ และผลกระทบของการป้องกันต่างๆ การตรวจสอบปฏิกิริยายังใช้ในการติดตามผลการวัด AMC ในอุปกรณ์ semiconductor เพื่อพัฒนาหาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลกระทบระหว่าง AMC และผลิตภัณฑ์ ที่ได้หรือเสียไป จากกราฟ และ ตาราง 7 บอกถึงชนิดของข้อมูลบางอย่างซึ่งได้จากการตรวจสอบปฏิกิริยา

ดังผลของการตรวจสอบปฏิกิริยาแสดงใน Table 2 จะเห็นได้ว่าการกัดกร่อนของ copper และ silver ค่าของ CCCs มีค่าเกินกว่า copper และ silver ที่ยอมรับได้ (150A/ 30 days) และ (100A/ 30 days) ของตามลำดับ การดึงอากาศบริสุทธิ์เข้ามาในโรงงาน (make up air) อาจจำเป็นสำหรับการลดปริมาณสิ่งเจือปน

ดังรูปที่ 6 แสดงถึงข้อมูลการตรวจสอบที่ได้จาก ERM วิศวกรได้วิเคราะห์เกี่ยวกับปริมาณกรดที่ปล่อยออกมาจากเครื่องมือในช่วงเวลา 6 สัปดาห์ ซึ่งผลวิเคราะห์สามารถระบุปริมาณสารเจือปนได้ 2 ชนิด หนึ่งในจำนวนนั้นเป็นชนิดรุนแรง

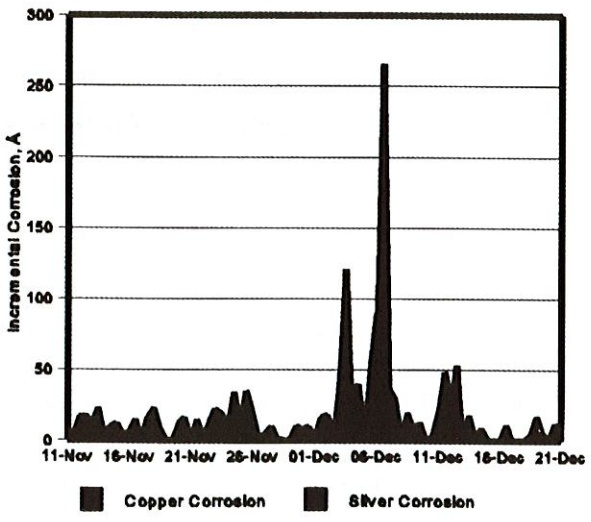

Figure 6 ERM monitoring data showing chemical contamination "episodes" in an acid etch bay

การตรวจสอบปฏิกิริยาใช้ขบวนการตามมาตรฐาน และวิศวกรก็พยายามหาค่าระดับของปฏิกิริยาที่ควรจะเป็น สิ่งที่จะต้องพิจารณาเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องมีดังนี้

- ติดตั้ง ERM ในพื้นที่ที่สารเคมีถูกปล่อยออกมา
- ติดตั้ง filter กรองสารเคมีที่เครื่องมือทั้งทางเข้าและทางออก และใน RAHUs เพื่อควบคุมการเจือปนของกรด
- ตรวจสอบวัสดุที่ใช้ใน process อย่างละเอียด เพื่อหาค่าอัตราความเสียหายของผลิตภัณฑ์เนื่องมาจากการเจือปนของกรด

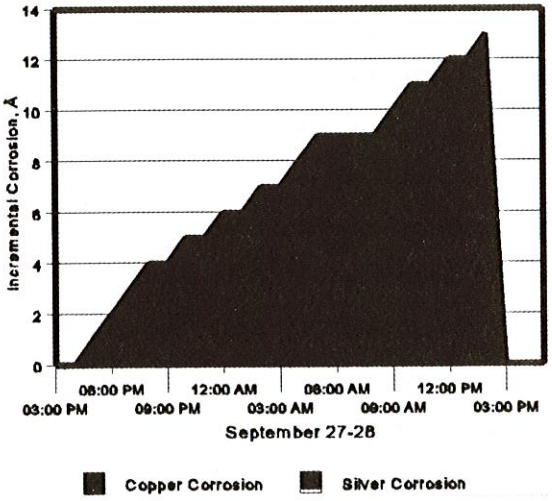

Figure 7 ERM data showing AMC "episodes" due to production activities

รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการใช้ ERMs เพื่อต้องการรู้ระดับของการกัดกร่อน แบบ real-time ที่เวลาต่างๆ

รูปที่ 8 แสดงข้อมูลที่เก็บค่าต่อเนื่องของการลดลงของค่า AMC ในการเกิดปฏิกิริยาของ copper จาก Class C5 ถึง Class C1

ตารางที่ 10 แสดงถึงข้อมูลจากจำนวนของ CCCs เพื่อตรวจสอบสภาพแวดล้อมทั้งภายในและรอบห้อง semiconductor อากาศภายนอกจะแสดงถึงระดับความสำคัญของปฏิกิริยาของ sulfides, sulfur oxide และ inorgonic chlorine ซึ่งจะถูกทำให้ดีขึ้นโดยผ่าน MUAHs และ RAHUs

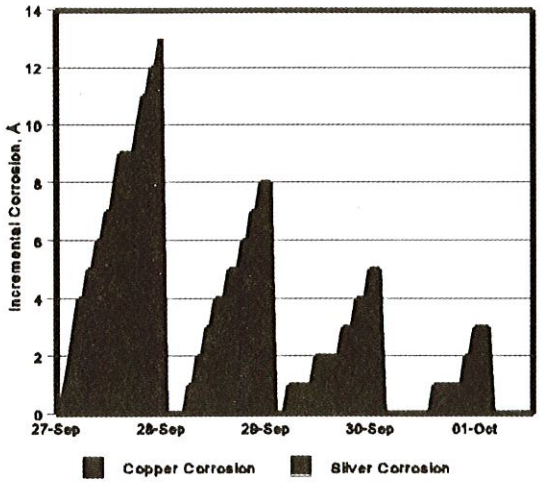

Figure 8 ERM data showing reduction AMC episodes due to mitigation efforts

รูปที่ 9 และ ตาราง 11 แสดงข้อมูลจาก ERMs และ CCCs ซึ่งติดตั้งทางส่วนบนและส่วนล่างของระบบตัวกรองเคมี การระบุประสิทธิภาพการกรองใช้ระดับของ AMC เพื่อรักษาให้คงอยู่หรือต่ำกว่า C2/S2 โดยใช้สาร Chlorine เป็นตัวทดสอบความเข้มข้นที่หายไปจากอากาศ

ตัวอย่างข้อมูลของ ERM บ่งบอกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาของ copper และ silver คือ Class C1 และ S2 ตามลำดับ และข้อมูลของ CCC ก็พิสูจน์แล้วว่าไม่มี Chlorine เป็นตัวนำไปสู่อุปกรณ์ในห้อง MUAH

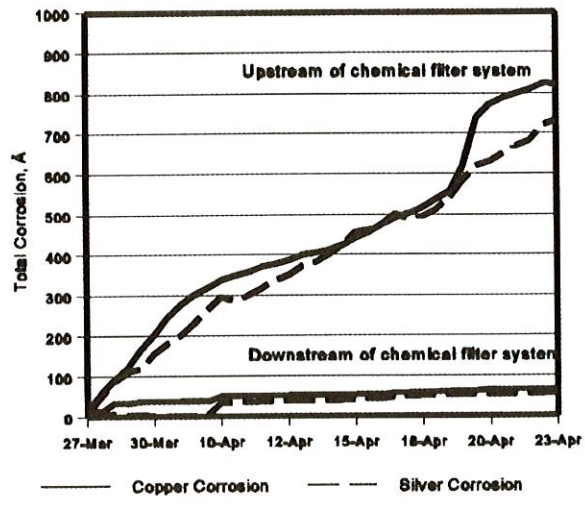

Figure 9 ERM data used to evaluate the effects of chemical filtration on AMC levels (U.S. wafer fab)

Table 10 Site survey reactivity monitoring data (U.S. semiconductor fab)

CCC Location	Source of Air*	Copper Corrosion				Silver Corrosion			
		Total	Cu_2S	Cu_2O	Cu-Unk	Total	AgCl	Ag_2S	Ag-Unk
Fence Line (Outside air)	O	16,380	16,195	634	0	275	192	83	0
Cooling Tower (roof)	O	16,336	15,759	577	0	380	256	124	0
Loading Dock (east)	O	8,177	8,033	144	0	259	133	86	39
Loading Dock (south)	O	6,202	6,058	144	0	268	149	55	63
Fab MUAH - Intake	O	15,698	15,348	350	0	375	298	76	0
Fab MUAH - Common Plenum	O/R	252	0	252	0	265	104	98	63
DD	R	259	0	259	0	509	162	304	44
Etch	R	210	0	210	0	332	43	179	111
Etch Bay	R	369	121	248	0	334	177	114	44
Films	R	198	0	198	0	391	11	254	126
MVA	R	481	364	117	0	473	353	76	44
Sub-Fab, Diffusion	R	216	0	216	0	339	21	199	118
Sub-Fab, WETS area	R	196	0	196	0	266	33	183	49
Sub-Fab, Photolithography	R	179	0	179	0	256	19	153	84
Rooftop air intake	O	553	406	87	59	163	116	46	0
Ground-level air intake	O	606	388	159	59	416	378	38	0
Ground-level air intake	O	436	249	167	0	442	247	66	129
Inspection Building	O/R	227	0	227	0	523	59	398	65
P&T Building	O/R	290	101	189	0	227	173	39	15

*O = outside air, R= recirculation air

บทสรุป

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วมีความพยายามมากมายในการควบคุมสิ่งเจือปนในโรงงานอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิค ซึ่งมีจุดมุ่งหมายแนวเดียวกันคือการนำเอาอนุภาคที่ลอยอยู่ในอากาศออกไป องค์กร SIA Roadmap ได้กล่าวว่า AMC จะเป็นเทคนิคถัดไปที่ใช้ในการเอาชนะสิ่งเจือปนและรักษาอุปกรณ์ semiconductor ให้ได้

AMC ยังคงมีอยู่และถูกใช้และยอมรับอย่างกว้างในอุตสาหกรรม semiconductor อย่างไรก็ตามพวกเราเริ่มเข้าใจถึงผลกระทบของระดับสิ่งเจือปนต่อขบวนการผลิตและผลผลิตที่ได้ โมเลกุลของสิ่งเจือปนเป็นสาเหตุของผลผลิตที่ต่ำลง รวมถึงการเพิ่มขึ้นของ oxide และการกัดกร่อนชิ้นส่วนต่าง ๆ

อีกสิ่งหนึ่งซึ่งต้องนำมาพิจารณาคือระดับของ AMC ที่ยอมได้ ซึ่งจะต้องถูกจัดให้เป็นค่ามาตรฐาน การตรวจสอบปฏิกิริยาในปัจจุบันที่ใช้งานจริงมีดังนี้:-

- การประเมินคุณภาพอากาศภายนอกอาคารหรือโรงงาน
- การตรวจวัดคุณภาพอากาศและค่า AMC ในโรงงานจริง ณ ช่วงเวลาหนึ่ง
- การตรวจสอบค่า AMC โดยสุ่มวัดและบันทึกในแต่ละช่วงเวลา
- การประเมินผลกระทบของสารเคมีที่เกิดขึ้นในโรงงานเพื่อหามาตรการในการควบคุม
- การตรวจสอบประสิทธิภาพของ chemical filters ที่ใช้งาน

ปัจจัยที่สำคัญในอนาคตที่จะถูกนำมาพิจารณาในการใช้งานเพื่อควบคุม AMC อาจต้องคำนึงชนิดของ AMC ในแต่ละชนิดที่ระดับต่าง ๆ, เกณฑ์การตกตะกอนของไฮโดรคาร์บอนใน DUV optics chambers, การนำ AMC control ไปใช้กับการตรวจสอบแบบถูกกระทำ (passive) และ แบบต่อเนื่อง (real time), การพัฒนาของ sensor ที่ใช้ในการตรวจวัดสำหรับสิ่งเจือปนเคมีชนิดอื่น ๆ เช่น amines และ hydrocarbons และ การประยุกต์ใช้ gold plated QCMs เป็น deposition monitors สำหรับการ condensables

REFERENCES

1. *Osborn C.M., et al., "The Effects of Contamination on Semiconductor Manufacturing Yield.," Journal of Environmental Sciences, pp 45-57, March/April, 1988.*
2. *Burkman, D.C., et al., "Understanding and Specifying the Sources and Effects of Surface Contamination in Semiconductor Processing Microcontamination, pp 57-62, 107, November, 1988*
3. *Mikulsky, J., "Chemically Clean Air: An Emerging Issue in the Fab Environment," Semiconductor International, pp 115-122, September, 1996*
4. *Tamaoki, M., et al, "The Effects of Airborne Contaminants in the Cleanroom for ULSI Manufacturing Process," Proceedings of the 1995 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, pp 322-326, 1995.*
5. *Budde, K.J., "Determination of Organic Contamination from Polymeric Construction Materials for Semiconductor Technology,"Materials Research Symposium Proceedings, Vol 386, pp 165-176,1995.*
6. *Numerous references including: Kinkead, D.A,: Muller, A.J. et al,; MacDonald, S.A., et al.; Hiraiwa, A.*
7. *Muller, A.J., et al., Volatile Cleanroom contaminants: Sources and Detection, Solid State Technology, 37(9), pp 61-72, 1994.*
8. *Kishkovich, O.P., et al., "Real-Time Monitoring for Low-Level Pollution, ," ASHRAE Journal, 39(11) pp 45-51, 1997.*
9. *Muller, C.O., "Combination Corrosion Coupon Testing Needed for Today's Control Equipment," Pulp & Paper Magazine, February, 1990.*
10. *Muller, C.O., et al, "Multiple Contaminant Gas Effects on Electronic Equipment Corrosion," Corrosion Journal, February, 1991.*
11. *Muller, C.O., et al, "Multiple Contaminant Gas Effects on Electronic Equipment Corrosion," Further Studies," Proceedings of Advancements in Instrumentation and Control, Vol 46: pp 957-967m Instrument Society of America, Anaheim, 1991.*
12. *Abbott, W.H., The Effects of Operating Environments on Electrical and Electronic Equipment Reliability in the Pulp and Paper Industry," IEEE Conference Record, Institute of Electrical and electronic Engineers, Inc., New Your, 1983.*
13. *Rice, D.W., et al., "Atmospheric Corrosion of Copper and Silver," Electrochemical Society, 128(2), pp 275-284, 1981.*
14. *W.G. England, et al.," Applications of a Real-Time Electronic Contact Corrosion Monitor," Proceedings of Advances in Instrumentation and Control, Vol, 46: pp 929-955, Instrument Society of America, Anaheim, 1991*
15. *A.J., Weiller," Electronic Monitoring of Indoor Atmospheric Pollutants," Proceedings of Healthy Buildings '94, pp 241-243, National Coalitionon Indoor Air Quality, 1994.*
16. *Bowers, W., "Real-Time Ultragravimetric Measurement of Molecular Contaminants Using a SAW Sensor," Proceedings of the ICCCS 14th International Symposium on contamination Control, 1989.*
17. *"The Use of Gas-Phase Air Filtration in Semiconductor Clearnrooms," Technical Brochure 1200 (in print) , Purafil, Inc., 1998.*
18. *Division of Excellence in Semiconductor Manufacturing: A 300 mm Forum, Seminar, Teffen, Ltd., Bechtel, & Lockwood Greene Desing Team, Spartanbur, SC, November, 1997.*
19. *"The Natinal Technology Roadmap for Semiconductors," Semiconductor Industry Association, 1997.*
20. *SEMI Standard F21-95, "Classification of Airbore molecular Contaminant Levels in Clean Environments," Semiconductor Equipment and Materials International, Mountain View, CA, 1995,1996.*
21. *ISA Standard ANSI/ISA-S71.04-1985, "Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants," International Society for measurement and Control, Research Triangle Par, NC, 1996.*

22. *"The National Technology Roadmap for Semiconductors," Semiconductor Industry Association, 1994.*

23. *Kinkead, D.A., et al., Forecast of Airborne Molecular Contamination Limits for the 0.25 Micron High Performance Logic Process Technology Transfer Report # 95052812A-TR, SEMATECH, May 31, 1995.*

24. *"The National Technology Roadmpa for Semiconductors," Semiconductor Industry Association, 1997.*

25. *"Advisory Gukde-Line Air Quality Archives," delta Plan for Culture Preservation Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Government Buildings Agency, The Hague, The Netherlands, 1994.*