

반도체 제조공정 배가스 처리기술

김 용 진 | 한국기계연구원 열유체환경연구부 책임연구원
E-Mail : yjkim@kimm.re.kr

황 정 호 | 연세대학교 기계공학과 교수
E-Mail : hwangjh@yonsei.ac.kr

1. 서론

최근의 정보통신산업의 핵심인 반도체 제조에서 에칭(etching), 화학증착(CVD, Chemical Vapor Deposition) 및 이온주입 등의 여러 공정에서 약 130 종류 이상의 화학물질들이 가스(gas) 및 액체상의 무기약품이나 유기용제 등으로, 단독 또는 혼합되어 쓰이고 있다.

이러한 공정 가스들은 강력한 독성, 부식성, 연소성 및 환경오염성 등을 지니고 있으므로 안전과 환경보전 대책이 매우 중요하며, 이러한 경향은 반도체 디바이스(device)의 고집적화와 미세화가 진행됨에 따라서 점차적으로 증대하고 있다.

한편, 반도체공장에서의 공정후 배출되는 배가스에 대한 환경규제는 지구환경보호의 입장에서 점점더 엄격한 추세에 있으므로, 이러한 배가스를 효과적으로 처리하여 무공해 전환배출 또는 회수재생 재이용 등의 시스템에 대한 연구개발이 매우 활발하다.

미국의 경우 유해물질규제법안(TSCA, Toxic Substances Control Act) 제정 등을 비롯한 정부의 적극적인 활동에 힘입어 반도체 유해물질의 발생량이 매년 꾸준히 줄어들고 있으나, 초기 수백 개에 불과했던 규제사항이 현재는 수만 개 수준으로 늘어날 정도로 철저한 환경 작업이 진행되고 있으며, 매년 신물질이 등장함에 따라 이들 물질의 환경

영향에 대해서도 지속적인 평가가 진행되고 있다.

최근의 미국에서는 6개 대학과 11개 연구소, 29개 업체가 참여하는 엔지니어링 연구센터(ERC, Engineering Research Center) 등 각종 연구단체가 중심이 돼 반도체 제조공정의 청정화를 추진하고 있으며, 특히 ERC의 경우 유해물질 배출을 90%까지 감축하는 것을 목표로 대체 물질 및 공정 개발을 추진하고 있다.

국내의 경우도 산업자원부를 중심으로 올해부터 오는 2005년까지 청정산업 확산 중기 실천 계획을 통해 실질적인 관련 기술개발 및 설비투자 지원이 이루어지고 있는데, 반도체 분야에서는 과불화탄소(PFC, Perfluoro Compounds), 휘발성 유기물질(VOC, Volatile Organic Compounds) 등 생산공정내 유해화학 물질 해결과 관리를 위한 기술, 화학기계연마(CMP, Chemical Mechanical Polishing) 공정 등에서 발생하는 폐수 및 액상, 고체상의 다양한 폐기물에 대한 재활용 및 저감 기술, 공정내 장비의 에너지 절감기술 등의 개발과 설비투자를 지원하고 있다.

특히, 지구 온난화 및 오존층 파괴의 주범인 PFC는 반도체의 CVD, 드라이에칭과 세정 공정에서 불가피하게 나오는 물질로, 오는 2010년까지 전세계 PFC방출량을 95년 수준에 비해 10% 감축하도록 한 세계반도체 위원회(WSC, World Semiconductor Council)

의 결정에 따라, 이에 대한 연구가 집중되고 있다.

이에 따라 인텔, AMD(Advanced Micro Devices), NEC(Nippon Electric Company) 및 삼성전자 등을 비롯한 주요 반도체업체 21개사는 PFC를 자발적으로 감축하는 행동계획을 마련하여 본격적인 감축작업에 들어가고 있으며, 기존 라인에서 이들 가스 방출량을 최대한 줄이거나 대체할 수 있는 물질을 사용하고, 앞으로 운영할 신규 생산라인에는 이들 가스를 방출하지 않도록 배가스 처리시스템 등을 구축할 예정이다.

이러한 배가스 처리장치는 대당 가격면에서 일반적인 다른 반도체 장비에 비해서는 가격이 저렴한 편이나, 비교적 개발기간이 짧으며 반도체 라인 하나당 60~70대를 소요하여 보통 수십억원 대의 수요가 발생하고 대개 수주는 한두업체로 결정되기

때문에 일단 수주만 하면 단기간에 수십억원대의 매출이 발생하기 때문에 이에대한 개발과 수주 경쟁이 매우 활발하다.

이에 본 특집으로, 반도체 공정 배가스 처리를 위하여 설치되는 건식, 습식 및 연소식을 이용하는 각종 패키지(package)형의 처리장치 및 기술에 관하여 논의한다.

2. 배가스 및 처리계통 분류

초기의 반도체 제조 공정에서는, 저농도의 가스를 사용한 제조방법이 주류로, 주된 제조장치로써는 상압 CVD 등에서 사용(SiH_4 농도로 수% 정도)되었다.

이러한 장치로부터 배출되는 가스로는 미반응의 SiH_4 와 반응생성물이지만, 장치출구에서 미반응

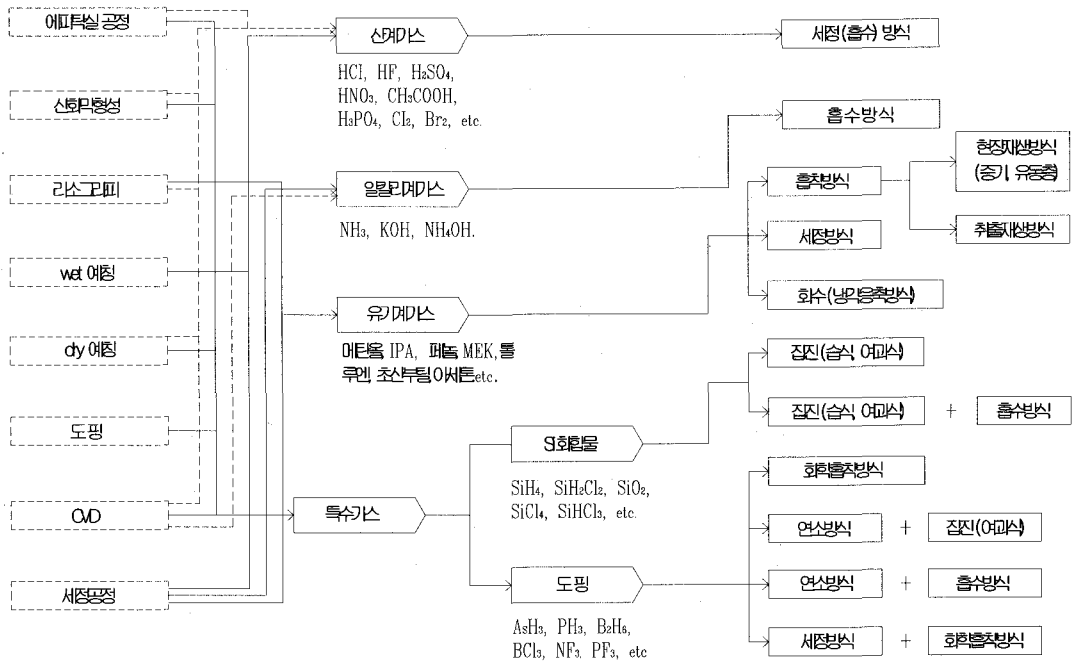


그림 1. 웨이퍼 가공 프로세스별 배출가스 및 처리에

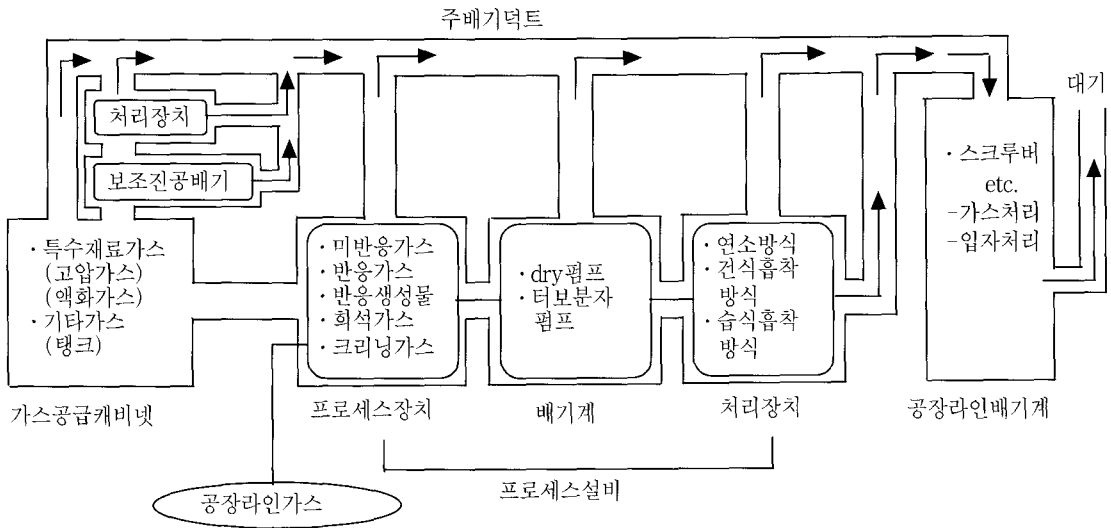


그림 2. 배가스 처리 계통도

SiH₄는 다량의 N₂ 가스에 의해 대폭적으로 희석되어 폭발하한계 이하에 저농도화되며, 게다가 공장배기 라인(line)에 의해서 공기를 포함하는 대유량의 희석에 의해 허용농도 이하로 희석처리되며, 최종처리설비인 수세정에 의하여 처리하는 시스템이 많았다.

그 후, 반도체 제조방법의 진보에 의해 감압 CVD나 플라즈마 CVD 장치가 개발되어 양산 라인에 사용되기 시작하면서, 프로세스 장치내에서의 반응효율을 높이거나 고도의 막성장을 위하여 사용하는 가스농도도 비약적으로 높아져, 가스농도로 20%~100%의 SiH₄ 가스도 사용되게 되어, 2중 3중의 처리 시스템을 설치할 필요가 있다.

그림 1에 최근의 반도체 웨이퍼 제조 공정별로 발생하는 대표적인 배가스의 종류와 특성 및 이들의 처리방식을 나타낸 것이다. 그리고 그림 2에서는 반도체 제조공정에서의 화학 가스들에 대한 안전과 환경오염 대책을 고려하여 실내외에 설치되는 배가스 처리장치와 배가스 계통도를 보여주고 있다.

3. 배가스 처리장치

반도체 제조공정에서 배출되는 가스 및 입자 등의 화학물질은 앞에서 언급한 바와 같이 매우 다양하며, 그 유해성 및 위험성 등도 천차만별이다.

처리가 용이한 물질도 있지만 2~3개의 처리방식을 조합해도 충분히 제거될 수 없는 처리 곤란한 가스와 또는 처리설비의 개보수를 빈번히 요하는 가스, 그리고 화재폭발 방지를 위하여 희석법이 특히 중요한 가스 등 다종다양하다.

현재, 적용되고 있는 처리장치는 표 1에서 보는 바와 같이, 크게 건식과 습식 및 연소/가열산화식 등으로 분류되며, 최근의 플라즈마(plasma) 및 저온응축방식 등이 개발 및 상용화 되고 있는데, 여기서는 이들에 대하여 간략하게 소개한다.

3.1 건식처리방식(화학반응흡착식)

건식 흡착방식은, 그림 3에서 보는바와 같이 처

표 1. 배가스 처리방식별 원리 및 특성

방 식	건 식	습 식	연 소 식
원 리	<ul style="list-style-type: none"> • 중화 규조토나 활성탄등의 담체에 알카리 중화제를 침착하여 중화 처리. • 산화 규조토나 활성탄등에 산화약품(염화제2철, 과망간산칼륨)을 침착하여 산화처리. • 촉매산화 반응 활성탄에 금속산화물을 침착시키거나 금속산화물을 입자상으로 만들어 직접 반응시켜 처리. 	<ul style="list-style-type: none"> • 흡수, 중화 가수분해성, 산성가스는 물 또는 알칼리 수용액에 의하여 흡수, 중화처리됨. • 산화흡수 환원성가스는 차아염소산, 과망간산염에 의하여 산화흡수 처리됨. 	<ul style="list-style-type: none"> • 자연발화성 가스, 가연성 가스를 연소시켜 산화시킴. • 연소방식에는 상온에서 자연 발화시키는 방식과 연소 버너에 의한 강제 연소 방식 및 히터가열방식이 있음.
방 법	<ul style="list-style-type: none"> • 약품을 충전층으로 하여 가스를 통과시킴. 	<ul style="list-style-type: none"> • 흡수장치로는 충전탑, 스프레이탑, 벤츄리 스크러버, 로터리 야토마이저가 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> • 연소장치로서는 연소 burner 식, curtain burner 식, heater 가열식이 있음.
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 처리 효과가 높음. • 다른 처리 방식에 비해 장치가 작고, 기구가 복잡하지 않음. 	<ul style="list-style-type: none"> • running cost가 낮음. • 대 유량을 처리할 수 있음. • 배기 가스중의 dust도 동시에 제거할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> • SiH₄와 같은 연발화성 가스에 대하여 유리. • 고농도, 대유량에 효과적.
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 산화에 의한 생성물과 장치로 부터의 분진에 의한 압력 손실 초래. • 처리가스의 농도 관리가 필요. 	<ul style="list-style-type: none"> • 허용농도 이하까지 처리가 어려움. • 배가스 중의 분진과 흡착액과의 반응 고형물에 의하여 유로차단. • 화재 위험성. • 배수 처리가 필요. 	<ul style="list-style-type: none"> • 연소에 의하여 생성된 산화물의 제거가 어려움. • 각종의 장치가 필요.

리가스를 화학적인 흡착제로 구성된 층을 통과시켜 가스를 제거하는 것으로, 초기비용이 적고, 흡착제가 과포화할 때까지는 보수의 필요성이 없이 안전하고, 제거효율이 높은 방법이나, 흡착능력이 흡착제(활성탄이나 규조토, 금속산화물 등을 조합)의 용량에 의존하고 있어, 대용량의 배기 가스를 처리하는 것은 공간적으로 큰 부담으로 된다.

따라서, 처리되는 가스의 유량이 작은 공정에서 적합하다고 할 수 있다. 또한 흡착제층을 반응 가스가 빠져 나갈 때, 압력손실이 크게되므로 이에 대한 고려가 중요하며, 이 방식의 최대의 결점은, 흡착제의 교환비용이 소요된다는 것이다.

최근의 가스의 종류, 농도 및 제거목적 등에 따라 흡착제의 종류와 시스템이 다양하게 개발 적용되고

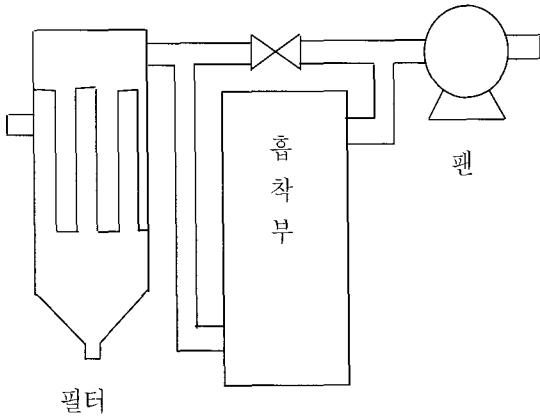


그림 3. 건식 흡착처리 장치도

있는데, 금속산화물계 등을 포함하는 각종 화학흡착제에 의하여 유독성의 물질들을 처리하는 방법과 활성탄 등을 이용하는 재생형흡착방식을 사용하여 유기용제의 회수장치로 사용되고 있다.

3.2 연소/가열 산화 방식

이 방식은 그림 4에서 나타난 바와 같이, 가연성 및 백연성의 불안정한 가스를 연소에 의해 안정한 산화물로 하는 것으로, 위의 흡착방식에 비하여 유지비가 싼 것도 특징이다.

이러한 연소방식은 처리 가스농도가 높은 쪽이 유리하며, 또한 H₂ 등의 연소범위가 넓은 가스에 대하여도 유리하다.

그리고 다른 처리장치에 비하여 처리후의 산업 폐기물이 적은 것도 특징의 하나라고 할 수 있다. 그러나, 배가스중에 포함되는 가스 농도가 상대적으로 저농도의 경우, 충분히 제거되지 않거나, 효율이 저하되며, 연소시 공기가 필요하므로 설치에 따른 외부공기 유입비용 등의 고려가 중요하다.

또한 주의가 필요한 대상 가스로는, 암모니아, AsH₃, NF₃ 등 연소가열후의 반응물질 (As₂O₃,

NO_x)의 생성이 고려되어져야 한다.

또한, SiH₄계의 연소처리에 있어서, SiO₂와 같은 입자상의 분체가 발생되어 연소로 내부 또는 배기덕트내에 퇴적하는 등의 문제가 생기며, 특히 이 가운데에서도 SiO_xH_y 등과 같은 중간생성물은 공기, 물이나 미량의 착화원 등에 의해서 덕트내의 퇴적물에서 화재가 발생되는 문제가 있으므로 처리시스템의 구축시 이에대한 주의가 필요하다.

연소/가열산화법에는 연소 버너(burner)에 의한 직접연소법과 히터(heater) 가열에 의한 가열연소법등이 있는데, 직접연소법은 감압 및 플라즈마 CVD 등의 SiH₄ 가스와 수소 화물 가스에 쓰인다.

연소배기 가스는 냉각후 집진장치(세정 또는 여과식)나 흡수장치로 분진 포집이나 가스흡수가 행하여지는 것이 많다.

그리고, 전기를 이용하는 가열연소 또는 촉매식 연소법은 처리온도가 800~1000℃로 낮으므로 SiH₄ 등의 가스를 처리하는데는 불리하다. 이러한 연소 및 가열방식은 모두 Halogen계 가스의 처리는 불가능하다.

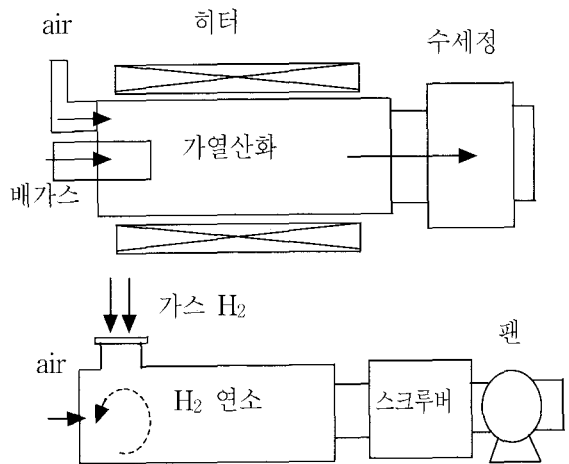


그림 4. 연소처리방식

3.3 습식처리방식

습식처리장치는 배기가스에 흡착액을 액적으로서 접촉시키는 액분산형장치(충진탑, spray탑, venturi scrubber, jet scrubber등)과 흡착액중에 가스를 분산접촉시키는 가스 분산형 장치(다공판탑, 로타리아토마이저, 교반 기포탑) 등 여러 가지 방식이 있으며, 저농도의 대량배기 가스처리나 입자상 물질을 포함한 배기 가스의 처리에 알맞기 때문에, 일반적으로 위의 건식 또는 연소식 처리장치의 최종단으로 사용되고 있다.

그림 5에 습식 스프레이 방식의 구성도를 보여 주는데, 이 방식은 NH₃나 HCl 등 수용액에 용해하기 쉬운 배기 가스에 대하여 효과적이며, 분진에서도 수 마이크론(micron) 정도는 제거할 수 있지만, 서브마이크론(submicron) 미세입자의 제거에는 필터 등을 병행하여 사용하는 등의 주의가 필요하다.

흡수액은 처리대상 가스의 특성에 의하여 결정되는데, 가수분해성 및 산성 가스에 대하여는 물 또는 수산화나트륨과 수산화 potassium 등의 알칼리 수용액을 사용하는 경우가 많으며, 환원성 가스에 대

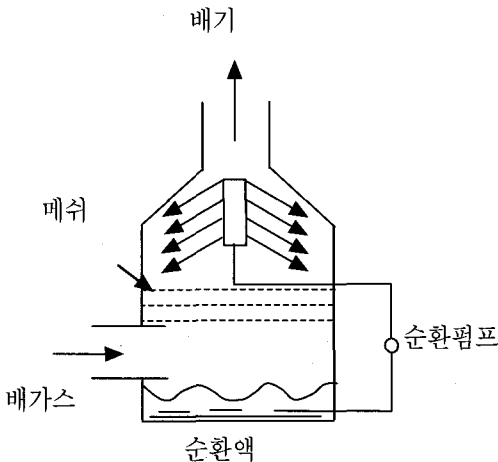


그림 5. 습식 스프레이 처리방식 구성도

하여는 과망간산칼륨 등이 사용된다.

일반적으로 물을 이용하는 습식세정 장치는 유지비를 포함하여, 경제적이라고도 할 수 있지만, 물의 공급/배수비용을 포함한 폐수처리, 배기 덕트의 청소 및 교환비용 등을 포함해서 건식처리와 비교하여 할 때, 경제적인 비교가 선행되어야 할 필요가 있다.

3.4 플라즈마(plasma) 방식

본 방식은 활성화 래디칼(radical)의 생성을 통한 플라즈마에 의한 유해가스를 분해하는 반응을 이용한 것으로 처리가스를 안정화 또는 분해, 제거시키는 장치로 사용될 수 있다.

그러나, 현재 고효율의 플라즈마 발생 반응로와 방식 등이 개발되고 있으나, 제거효율이 환경규제를 만족할 만큼 높지 않는 등의 문제가 있으므로, 촉매 및 습식 처리장치와 조합시켜 적용할 필요가 있다.

특히, 건식처리 장치는 처리 가스의 농도가 낮을 때 효과적이기 때문에 이 방식과 조합하는 것이 유리하다고 사료된다.

3.5 저온처리 방식

본 방식은 냉동기등을 이용하여 온도를 저하시켜 가스를 흡착 또는 응축하는 방식으로, 경제적인 측면보다는 차세대 환경 문제를 생각할 때, 배기가스의 recycling 및 재활용이라는 관점에서 유리한 처리방식이 될 수 있다.

본 방식에서의 과제는 미반응의 가스원료를 그대로 회수할 수 있는나는 것으로부터 경제성의 저하 측면 등이 있으나, 점차적으로 적용을 검토해 나갈 필요가 있다.

3.6 집진장치

이상의 가스처리 장치 이외에, 배가스에 존재하거나 처리반응으로부터 생성되는 미세 입자상의 물질을

제거하는 장치인 집진장치가 필수적인데, 전기집진, 여과집진 및 습식세정집진 방식이 적용되고 있다.

여기서, 전기집진장치는 성능면에서 가장 뛰어나서, 암모늄염에 의한 백연 제거 등에는 유효지만, 코로나(corona) 방전에 의한 위험성(수소 가스의 존재 등) 때문에 사용이 한정된다.

그리고, 여과식집진장치는 필터여과재의 종류, 재질 및 탈진 방식등의 여러가지 사양이 있지만, 장치의 압력변동 또는 압력손실이 제조설비에 미치는 영향을 어떻게 최소화하느냐가 중요하다.

그리고, 세정식 습식집진장치는 앞에서의 세정(흡수)방식과 같이 사용할 수 있는데, 현재 가장 일반적인 것으로는 venturi scrubber이며, 다공판타이나 탑내에서 기액을 혼합하는 방식의 세정탑 등도 사용되고 있다.

4. 배가스 처리장치 선정시 고려사항 및 과제

앞에서 언급한바와 같이, 반도체제조 공정의 배가스는 다종다량의 화학물질이 포함되어 있으므로, 배가스 처리장치의 선정과 설계시 다음과 같은 다방면으로부터의 검토가 필요하다.

(1) 가스, 미스트, 분진 등의 유해물질이나 악취의 발생원은 공장내에 복잡하게 분산되어 있으므로 이들을 최종단에서 제거하는 몇 개의 처리방식 및 수단등으로부터 덕트 계통의 분류와 집합을 검토하여야한다.

(2) 두가지 이상의 가스를 덕트내에서 혼합하고자 할 때는, 혼합에 의하여 새로운 유해 가스의 발생이나 폭발의 위험성 또는 암모니아와 산성계 가스의 혼합에 의한 백연 생성 등의 가능성이 있는 경우는 덕트 작업(duct work)을 별개로 하여 혼합을 피해야 한다.

(3) 사용하는 화학물질의 성질과 사용방법, 배출 형태, 동반 가스와의 반응성, 환경영향도, 처리의 난이도, 처리후의 2차공해의 가능성 등을 충분히 고

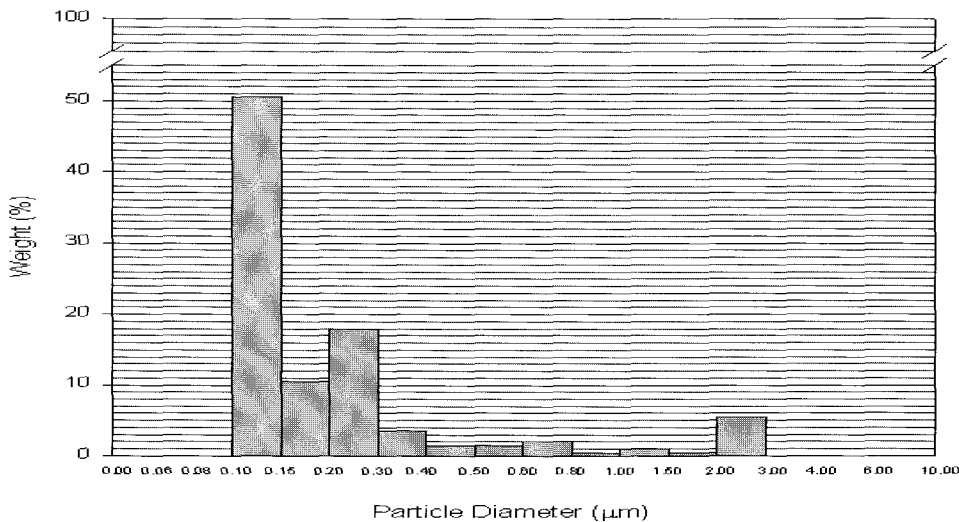


그림 6. 반도체 제조공정 배출 입자상물질 크기분포도

려하여 처리방식을 선정해야 한다.

(4) 처리장치의 초기 설치비는 물론, 운전비 (running cost), 조작성, 유지 및 설치공간 등을 고려하여야한다.

(5) 앞으로의 반도체제조장치는, 웨이퍼의 대구경화 및 멀티챔버(multi-chamber)화 이다. 그리고, 사용되는 가스량도 많고, 장치 1대에 대하여 수 종류의 가스가 사용되므로, 이러한 가스 종류의 증가와 처리량의 증대에 대응하는 처리장치가 고려되어야만 되며, 장치의 콤팩트화에 대한 필요성이 점차적으로 요구되고 있다.

(6) 그리고, 배가스 처리중에 발생하는 입자상 분진들은, 디바이스 제품의 신뢰성에 대한히 큰 영향을 줄 뿐만아니라, 배가스 처리장치의 내부(반응부)를 오염 또는 차단시키거나, 공장내의 배기 덕트에 누적되어 차단시킬 수도 있기 때문이다.

그림 6에 반도체 제조장치로부터 배출되는 입자상의 물질에 대한 대표적인 입경분포를 나타내고 있는데, 그림에서 보는바와 같이 평균입경이 0.15 μ m으로 매우 작으며, 0.3 μ m 이하의 입자가 전체의 70% 이상을 차지하고 있기 때문에 보통의 일반적인 필터로 처리하기가 매우 어렵다. 따라서, 이러한 미세입자를 어떻게 처리하여 외부로 방출시키느냐가 또한 중요한 과제이다.

5. 결론

이상에서 반도체 제조공정의 배가스 처리에 대하여 언급한 바와 같이, 복합 반도체나 액정, 광 파이버(optical fiber) 등의 제조공정에서도, 유사한 배가스가 방출되며 앞서와 같은 방식의 처리장치가 적용된다.

이러한 소위 첨단 산업기술 분야의 제조기술은 날로 진보하며, 배기 가스의 부하 종류와 양적인면에서 계속적으로 증가되는데 반하여 환경안전에 대한 규제강화와 관심이 점차적으로 고조되므로, 이

에 부응하는 배출가스 처리방식의 개발과 개선이 병행되어야 한다.

물론 향후의 반도체용 가스는 안전, 환경대책을 고려하여 저독성 및 안전성으로 변화할 것으로 예상되지만, 주 재료로서는 여전히 유기계 가스나 Halogen계 가스를 사용할 것으로 예상된다.

따라서, 이들 시스템에서의 혼합 가스계의 안전성과 위험성에 대한 기초 데이터나 기준의 정비가 요구되며, 처리 시스템의 높은 제거효율의 성능과 장치의 안전성 및 신뢰성의 향상과 비용절감(cost down) 등의 과제를 해결해야 하는데, 이러한 과제는 제작사와 연구팀만에 의하여는 해결하기가 어려우며, 사용자의 협력을 통한 종합적인 연구개발이 중요하다고 사료된다.

- 참고문헌 -

1. John C. Mycock et. al, "Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology", Lewis Publishers, New York, USA.
2. David C. C. and Alley F.C., 1994, "Air Pollution Control: A Design Approach", Waveland Press, Inc. USA.
3. 中村 直人, 2000, "半導體製造裝置用排ガス除害裝置の現狀と動向", クリーンテクノロジ, Vol. 10, No. 9, pp.1-3.
4. 菊池 均, 1997, "シリコンの排ガス處理設備", クリーンテクノロジ, Vol. 07, No. 7, pp.8-12.
5. 吉見 武夫, 1997, "排ガス處理設備の技術動向", クリーンテクノロジ, Vol. 07, No. 11, pp.1-2.
6. 大島 次郎, 間瀬 康一, 開 俊一, 1996, "半導體製造における排ガス處理システムの技術動向", クリーンテクノロジ, Vol. 06, No. 11, pp.38-45.