

# 반도체 공정가스내 입자 측정 및 감소 방법

생산기술연구원  
(기술관리본부)  
박사 안 강 호

## 1. 개론

반도체 제작 공정시 입자오염에 의한 수율감소는 잘 알려져 있으며, 클린룸내의 입자제어는 이미 상당한 수준에 달하였다. 그러나 공정 가스, 공정 액체(Process chemicals), 그리고 공정상 발생하는 입자의 제어 및 제거에 대해서는 알려진 바가 극히 미미하다[14, 41, 56]. 표 1에 제시한 바와 같이 반도체 제작에 사용되는 가스는 다양하며 그 순도는 매우높다. 이들 가스는 반도체 제작시 웨이퍼 상에 직접 노출되기도 하며, 때로는 반도체 칩의 일부가 되기도 한다. 그러므로 공정가스내의 입자제어는 매우중요하다. 한편, 클린룸의 공기나 작업자에 의한 입자오염은 웨이퍼와 작업자와의 분리등에 의하여 그 오염도는 점차 감소되는 추세이다.

본 논문에서는 공정가스상에 존재하는 입자의 측정 및 그의 감소 방법에 대해 알아보기로 한다.

## 2. 고순도 가스내 입자 측정 및 입자 발생 원인 분석

고순도 가스내 입자 측정은 주로 입자의 농도가 스펙(Specification)내에 드는가 의 검사에 이용된다. 예를 들면, 미국의 SEMI (Semiconductor Equipment and Materials

표 1. 반도체 제작시 사용되는 가스

Epitaxial Silicon	SiH <sub>4</sub> , SiCl <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , AsH <sub>3</sub> , PH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>
Oxidation	O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , Ar, HCl
SiO <sub>2</sub> Deposition	SiH <sub>4</sub> , SiCl <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O
SiN Deposition	SiH <sub>2</sub> , SiCl <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , Ar, N <sub>2</sub>
Doping	AsH <sub>3</sub> , AsF <sub>3</sub> , PH <sub>3</sub> , BCl <sub>3</sub> , BF <sub>3</sub> , Ar, He, H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>
Etching	CF <sub>4</sub> , Cl <sub>2</sub> , HCL, BCL <sub>3</sub> , CCl <sub>3</sub> F, CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> , CClF <sub>3</sub> , NF <sub>3</sub> , SF <sub>6</sub> , Ar, O <sub>2</sub>
Annealing	N <sub>2</sub> , Ar, H <sub>2</sub>
Blanketing	N <sub>2</sub> , Ar, He

Institute)는 아르곤혹은 질소가스공급라인 내 0.2 $\mu$ m보다 큰 입자의 농도가 1m<sup>3</sup>당 700개 이하를 유지토록 설정하였다. 이보다 더 엄격한 규격을 채택하는 경우도 있다. 예로, 일본 오미(Ohmi) 그룹은 클린룸에 공급되는 가스 안에 0.1 $\mu$ m보다 큰 입자가 단 한개도 존재하지 않는 것을 요구하고 있다 [23]. 어느 경우든 신설된 가스공급 시스템이 사용자에게 이전되기 전에 입자계수기로 입자의 농도 레벨을 측정 계약조건에 맞도록하고 있다. 이 같은 벌크(bulk)가스내 입자의 청정도 정도를 고순도 실린더 가스에 수요자와 공급자 사이에 규격을 설정하고 있다.

이와 같은 공급 공정가스에 대한 규격은 반도체 칩의 집적도가 높아지면서 더욱 엄

격해지고 이 규격을 맞추기 위해선 입자의 발생 원인규명 및 입자의 제거가 매우중요하게 되었다[4, 7, 9, 10, 36, 37, 53, 54]. 입자의 발생원인 규명방법중 가장 쉽게 사용될 수 있는 계기로 입자계수기를 사용하며 일반적으로 실시간 계측이 가능하다. 특히, 밸브의 개폐, 기계적 진동등에 의해 발생하는 입자의 농도 측정 및 공급가스 사용 가능 시기 결정등에 사용된다[4, 9, 36, 54]. 입자계수기는 실시간 계측이외에 가스의 오염정도를 모니터링할 수 있다. 예를 들면, 질소가스 배관 곳곳(저장탱크, 증발기, 필터등)에서 입자 농도를 모니터링함으로써 가스수송 시스템내의 입자 발생위치 및 제거 여부를 알 수 있다.

일반적으로 입자의 구성 성분을 알 수 있

으면 입자의 발생원인을 쉽게 규명할 수 있다[9, 10]. 만약 공급가스의 생산 및 취급에 사용된 재질의 성분을 알고 오염입자의 성분을 알면 성분비교에 의하여 입자발생 근원을 정확히 가려낼 수 있다. 성분분석에 의한 오염근원 규명의 한 예로, Fe(5~10%)과 Ni이 포함 된 입자들이 저 순도 질소 공급라인에서 발견되었는데, 이는 9% Ni이 함유된 액체질소탱크로 부터 발생된 것들이었다[9].

## 2.1 실시간 입자 측정

공정 가스내 입자의 농도 및 크기의 실시간 입자 계측기로 광학입자계수기(Optical Particle Counter, OPC)를 가장 많이 사용한다. 레이저 OPC의 경우 측정최소 입자크기는 보통  $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ 이다. 응축핵 계수기(Condensation Nucleus Counter, CNC)는 약  $0.01\mu\text{m}$ 정도 까지 측정할 수 있는데 고순도 가스 측정에는 많이 사용되고 있지 않지만 점차 사용 빈도가 증가되고 있는 추세다.

## 2.2 샘플링 기술

고순도 공정가스 입자 측정에서 가장 어려운 것은 가스공급라인과 입자계수기와의 연결이다. 그 이유는 대부분의 입자측정기들이 대기압하에서 작동함으로 압력감소기(Pressure Reducer)등 고압에서 대기압으로 낮추는 장치가 일반적으로 필요하다. 이들

계측기는 주로 배관선에 탭핑(Tapping)을 하여 샘플링함으로 입자를 발생시키거나 외류형성에 의한 입자의 트랩(Trap)이 없도록 하여야한다. 또한 입자 샘플링 시스템은 현장평가를 할 수 있도록 견고하고 신뢰성이 있어야하며, 반응성 가스나 유독가스를 취급하기에 안전하도록 설계되어야 한다.

입자의 샘플링에 대해서는 여러사람들에 의해 많이 연구되어왔으며[3, 8, 17, 32, 57], 샘플링시 발생하는 손실을 최소화하여야 한다. 몇가지 샘플링 로스메카니즘에 대해 나열하면 :

- Anisokinetic Loss : 주위 유체 속도와 샘플링 개스의 샘플링 속도가 다를 경우 발생하는 입자의 샘플링 손실,
- 중력에 의한 손실 : 샘플링 튜브내에서 입자의 침강에 의해 발생하는 손실,
- 관성에 의한 손실 : 유선의 방향이 변할 때 관성력에 의해 입자가 유선에서 이탈하여 샘플링 튜브나 벽에 붙게 되 생기는 손실. Stokes number가 0.5보다 크게 되면 이 손실이 많게 된다.
- 확산에 의한 손실 : 입자( $0.1\mu\text{m}$ )의 브라운 운동에 의해 입자의 운동이 유선에서 이탈되 튜브나 벽에 부착되 발생하는 손실.

위와 같은 입자손실을 최소화하기 위해서는 샘플링 튜브의 길이는 될 수 있으면 짧

표 2. 고순도 가스내의 입자 측정에 사용되는 레이저 입자 계수기

Manufacturer	Model	Flow rate (ft <sup>3</sup> /min) <sup>a</sup>	Pressure (atm) <sup>b</sup>	Size range ( $\mu$ m)
Particle Measuring Systems, Inc.				
	LPC-HS	0.1	1	0.05 - 3.0
	LAS-X	0.01	1	0.09 - 3.0
	LPC-101	0.1	1	0.1 - 1.0
	LPC-525	1.0	1	0.2 - 5.0
	SPC-110	1.0	1	0.1 - 5.0
	HPLAS	6.7(max)	3-11	0.3 - 5.0
	LPC-101-HP	0.1	3-7	0.1 - 1.0
Climet Instruments				
	CI-6300	1.0	1	0.19 - 5.0
	CI-7500	0.1	1	0.1 - 0.5

<sup>a</sup>1 ft<sup>3</sup>/min(CFM) =  $4.719 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s.

<sup>b</sup>1 atm =  $1.013 \times 10^5$  Pa.

계, 직선으로 그리고 가능하면 수직방향으로 샘플링할 수 있도록 설치하여야 한다.

압력 감소는 주로 오리피스나 팽창실 등을 사용하여 기압을 낮추어 사용한다[35, 43, 59]. 그러나 압력을 낮추기 위하여 압력 조절기나 밸브를 사용하지 않는다. 그 이유는 가스의 순환영역(recirculation zone)이 조절기나 밸브 내부에 발생하기 때문이다.

### 측정기 선택

입자 계수기의 선택은 사용자의 사용목적

및 계기의 측정한계에 의해 결정된다. 일반적으로 상업적으로 구할 수 있는 계수기는 표 2에 있으며, 각 계기의 측정 유량 및 입자 측정한계에 따라 일장 일단이 있다. 최근에는 유량이 28.3 lpm에 입자 측정한계가 0.1 $\mu$ m인 계수도 등장하였다[26]. 또한 고압개스 내에서도 직접 샘플링할 수 있도록 압력 감소기나 밀폐형 광학계를 사용하여 10기압정도의 개스에서 직접 샘플링할 수 있도록 제작되었다[26, 39].

### 데이터 분석

청정 가스내의 입자 샘플링 및 그 데이터 분석은 매우 어렵다. 특히 샘플링양이 작거나 입자의 농도가 매우 낮아 측정기의 후면잡음과 비슷할 경우 더욱 어렵다. 이 경우 측정기와 샘플링 시스템의 후면잡음양과 측정자료의 통계학적 분석이 필요하다[4, 6, 25, 31, 36, 37, 53, 58]. 후면잡음 측정시 가장좋은 방법은 고효율 필터를 측정기에 부착하여 관찰하는 것이고, 차 선택으로 가스 샘플링 없이 측정기의 잡음을 측정하는 방법이다. Van Slooten(1986)[58]의 실험결과에 의하면 많은양의 가스를 샘플링함으로써 측정기의 후면잡음 보다 높은 입자계수를 얻어 자료분석에 영향을 미치지않도록 하였다.

### 입자 성분 분석

가장 이상적인 입자계수기는 입자의 크기 및 갯수 뿐만 아니라 그 성분까지 실시간으로 나타낼 수 있어야 한다[49]. 몇몇의 실험적인 시스템이 이러한 목적으로 개발되어지고있지만 아직 상업화 되기에는 시간적으로 오래 걸릴 것 같다.

현재로서는 시간 평균에 의한 입자의 성분 분석 정보만을 얻을 수 있다. 이러한 분석 방법은 필터나 임팩터(impactor)를 사용해 오랜 시간동안 입자를 샘플링하여야 하는 어려움이 있다.

입자의 화학물 분석기술은 주로 환경오염

이나 표면오염 분석기술에서 유래되었으며, 청정 가스내의 오염분석은 샘플링 시간내에 충분한양의 샘플을 얻을 수 없어 분석하기 매우 어려운 경우가 많다. 일반적으로 2가지 입자분석 방법이 있으며 첫째는, 입자성분을 하나의 입자마다 각각 분석하는 것 [1]과 둘째는, 벌크(bulk)로 성분을 분석하는 방법이다. 첫번째 방법은 각 입자의 발생 근원을 쉽게 유추할 수 있어 정확한 원인 규명을 할 수 있다. 또한 각입자의 물리적 특성을 쉽게 파악할 수 있다. 두번째 방법은 샘플 한 모든 입자성분의 적분값을 얻으므로 정확한 분석에 어려움은 있으나 분석 시간을 절약할 수 있는 장점이 있다.

### 입자 발생 방지

입자의 측정 및 성분 분석은 입자의 발생 근원을 찾아 입자의 발생 원인을 제거함으로써 공정 가스의 청정도를 한층 향상시킬 수 있다. 공정 가스 공급라인 내의 일반적인 입자 발생 원인 및 장소는 아래와 같다.

- 원료자재 : 공기의 경우  $0.1\mu\text{m}$ 보다 큰 입자의 농도는  $17^7 \sim 10^8/\text{m}^3$  정도이고, 특수 가스의 경우 원료가스의 입자농도에 대해서는 잘 알려져 있지 않다[13, 36, 54].
- 침식 : 고속유동가스는 때때로 초음속에 달아 충격파를 발생시켜 배관내부 표면에 붙어있는 물질을 이탈시킨다.

침지어는 배관선내의 물질 자체를 침식시키기도 한다. 이는 가스유동 패턴에 따라 많이 좌우된다 [8].

- 부식 : 가스와 배관물질과의 화학 반응에 의하여 배관선을 부식시킬 수 있다. 이 부식된 물질은 표면으로 부터 쉽게 이탈되어 질 수 있는데, 가스의 유동, 진동, 혹은 내부응력이나 열응력에 의해 입자화 되어 유동가스로 운송된다[55].
- 마멸 : 가스 수송배관 시스템에는 밸브, 압력조절기등 움직이는 부품이 많아 이들 부품의 마찰에 의한 마멸로 입자가 많이 발생될 수도 있다[62]. 만약 가스가 과립상 흡착기나 촉매기를 지나면 이 들도 입자를 발생시킬 수도 있다[51].
- 응축 및 불순물 : 자연 입자 발생 원인의 하나로 증기의 응축에 의한 입자형성을 들 수 있다. 유기가스나 혹은 불순물들이 특수가스와 반응하여 안정된 화합물 형성과 동시에 고체나 액체상의 입자를 형성할 수 있다. 그 예로, 수증기나 산소는 금속산화물을 형성하면서 많은 양의 입자를 발생시킨다[42, 60].

공기를 원자재로 사용해 생산한 가스들은 여러가지 필터링 과정을 통과 함으로 원자재내에 존재하던 입자들은 모두 제거된다고

생각해도 된다. 그러나 특수 반응가스에 존재하는 입자의 농도에 대해서는 자세히 알려져 있지 않지만 필터링 과정을 통해 많은 입자가 제거되리라 생각된다.

이와 같은 견지에서 가스 사용시 입자의 발생원인은 주로 가스취급 시스템내에서 생성되며, 입자의 측정은 모든 가스취급장치 및 배관 시스템을 포함한 저체 시스템을 대상으로 이루어져야 한다. 입자발생의 정확한 원인규명을 위해서는 가스배관 시스템에 사용된 각 부품에 대하여 실험실내에서 여러가지 변수를 조정하면서 먼저 테스트를 한다. 그리고 전체시스템에 대해 테스트하여 입자발생위치 및 원인을 밝힘으로써 입자발생을 제거할 수 있다. 전자현미경이나 EDX등을 사용하면 보다쉽게 입자의 발생근원을 알 수 있다. 다음은 설계시 고려하여야 할 몇몇 사항에 대해 논하였다.

### 물질의 구성 성분

316L과 340L 스테인레스가 공정 가스용기 및 배관 설비 재료로 가장많이 사용된다 [2, 5, 10, 12, 22, 27, 28, 29, 33, 34, 40, 52, 63]. 이들 강의 구성성분에 대해서는 표 3에 나타나있으며, 스테인레스 강은 표면에 얇은 산화 혹은 산화수소 크롬막을 형성하며 아주 우수한 내부식성 내화학성을 갖는다[45]. 이 산화막은 4nm이하의 두께로 금속표면에 밀착되어 더이상의 화학반응

표 3. 스테인레스 강 합금의 구성 성분 (wt. %)

AISI type	Cr	Ni	Mo	Mn <sup>a</sup>	Si <sup>a</sup>	P <sup>a</sup>	S <sup>a</sup>	C <sup>a</sup>	Fe
304L	18-20	8-12	...	2.0	1.0	0.045	0.030	0.03	Bal
316L	16-18	10-14	2.0-3.0	2.0	1.0	0.045	0.030	0.03	Bal

<sup>a</sup> Maximum levels.

표 4. 직경 3/8inch, 길이 20ft 튜브에서 측정된 0.1 $\mu$ m보다 큰 입자의 농도

Tubing	Particles/SCF at tubing outlet	
	Before exposurt	After exposurt
Electropolished 316L	0	0
Electropolished Cu	0	3,000
Mill Finished 316L	7	-
Mill Finished Cu	7	-

Note : Filtered nitrogen was the inlet gas. Concentrations on the electropolished tubes were measured before and after exposure to an accelerated atmospheric corrosion test enviroment.

을 막는다.

항상 유동하는 불활성 기체배관은 내화학적 배관이 필요하지 않을 수도 있다. 순수 질소 분위기 하에서 일렉트로 폴리쉬(electropolish)된 스테인레스관과 동관을 시험하였을때 표 4에[10, 12] 나타난 것처럼 2관 모두 부식에 의한 입자발생이 관찰되지 않았다. 그러나 실제 사용에 있어서는 시스템 설치중, 혹은 배관내 누출, 역 확산(back diffusion), 부적합한 퍼징(purging)등으로 인한 습기, 기타 가스등에 노출되 관이 부식될 수 있다[52]. 이런경우 보통배관 자재로 사용하던 구리, 알루미늄등의 배관

은 쉽게 부식될 수 있다. 이와같은 자재의 부식물은 스테인레스관 내의 부식물보다 잘 떨어져 가스중에 쉽게 배출된다. 표 4는 동관과 스테인레스관이 대기중에 노출된후의 입자 발생량을 나타낸 것이다.

보다더 부식성이 강한 가스의 경우 가스 취급부품(밸브, 튜브등)의 합금성분이 더욱 중요해진다. 경우에 따라서는 스테인레스관의 사용이 가장 부적절할 때도있다[38]. 할로젠을 함유한 가스의 경우 니켈이나 니켈을 함유한 합금의 사용이 바람직하다. 그 이유는 이 금속들이 할로젠 가스와 습기를 포함한 기체에 대해 매우 강한 방식성이 있

기 때문이다[16].

고압가스통의 재료선택은 매우 어려운 일 중에 하나로[27, 28, 33, 40], 고압가스통의 재료는 수용가스에 대해 부식하지 말아야 할 뿐만 아니라 압력을 견딜만한 충분한 물리적 특성을 갖추어야 한다. 할로젠 가스를 제외한 대부분의 초청정가스는 특수표면처리가 된 알루미늄 통을 사용한다. 부식성가스의 경우 가스통의 내부가 표면처리된 것이나 복합재료를 이용한 물질을 사용해 오염을 최소화 시키고있다.

**표면 처리**

배관에 사용되는 부품의 재료로 스테인레스 강 316L 혹은 304L등으로 명세하면서 이들의 표면을 전해나 화학적으로 처리해 줄 것을 명시한다. 표면조도는 일반적으로 표면의 평균치로 부터의 변위를 기하학적 평균값( $R_a$ ) 혹은 root-mean-square( $R_{RMS}$ )로 나타낸다[61]. 이들 튜브들은 표면처리 과정을 거침으로서 기계가공중 발생한 불순물의 제거, 윤활유의 제거, 표면의 산화막 제거등 기타 불순물등을 제거함으로써 배관후 이들

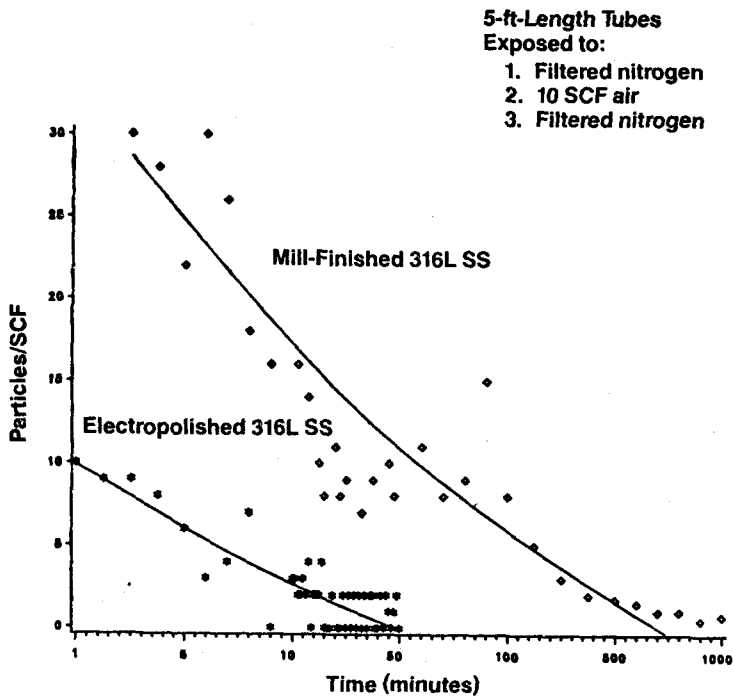


그림 1. 질소 가스를 사용하여 직경 3/8inch, 길이 5ft의 316L 튜브의 하류에서 측정된 0.2  $\mu$ m보다 큰 입자의 농도. 이 튜브는 200,000 입자/SCF의 입자가 든 공기 10SCF(= 283lpm)를 통과 시킨후 실험되었다.



불순물의 유입을 방지할 수 있다. 유리 (nonpassivated)된 칩입자는 부식될 뿐만 아니라 스테인레스 위에 앉으면 스테인레스 자체의 부식을 가속시킨다. 비록 폴리싱 (polishing)과정은 표면으로부터 불순물등을 제거시키지만, 일렉트로 폴리싱과정은 금속 표면에 붙어있던 비금속 물질을 제거시키지 못한다. 이 같은 비금속 물질은 후에 입자 발생의 요인이 될 수도 있다[29].

정밀하게 polishing된 표면은 일정조건하에서 입자들의 trap을 최소화 시킬 수 있다. Polishing되지 않은 표면은 전자현미경 상에서 보면 매우 불규칙하고 많은 구멍들이 있으며 입자들이나 액체 불순물등을

trap하기 쉽게 되었다. 화학적 polishing은 이 같이 불규칙한 표면을 매끈하게 할 수 있지만 grain경계를 에칭하는 경우도 있다. Electropolishing은 가장 매끄러운 표면을 만들지만 비금속 물질을 封入시킬 수도 있다. 실험에 의하면, 대기에 오염된 mill-finished 316L 튜브와 Electropolishing된 316L 튜브가 약 1오더(order)정도 오랜 시간 방출함을 볼 수 있다[12]. 이것을 보면, 초청정 가스 공급선내의 압력변화 혹은 기계적 진동발생시 갑작스런 입자의 발생이 관찰되는 경우에 대한 설명이 될수도 있으며 이는 polish되지 않은 배관 라인에서 더욱 심하게 나타남을 볼 수 있다. 한편 다른

표 5. 여러 업체의 각기 다른 316L 튜브의 안쪽에서 측정된 성분 분석

Tubing	Cr	Fe	Ni	Mo	O	C	$\Sigma P_i^*$	Cr/Fe
Mill-Finished Vendor 1	4.6	4.3	0.4	0.4	38.1	47.9	4.3	1.1
Mill-Finished Vendor 2	2.4	1.7	0.1	1.0	31.6	49.0	14.4	1.4
Chempolished Vendor 2	5.2	3.3	0.2	0.4	48.5	36.5	7.6	1.6
Chempolished Vendor 3	7.5	5.5	0.5	0.5	44.9	37.5	4.7	1.4
Electropolished Vendor 1	4.8	2.4	0.5	0.5	35.1	47.1	9.5	2.0
Electropolished Vendor 2	8.2	3.6	0.3	0.5	48.7	31.1	7.6	2.2
Electropolished Vendor 4	6.8	3.9	0.5	0.4	43.1	41.1	3.9	1.7

\*Sum of process-related impurities.

실험에 의하면 PSL입자와 금속입자를 입힌 튜브로 실험하였을때 mill-finished 튜브나 electropolishing된 튜브 사이에 아무런 차이 점이 없는 것으로 나타났다.

polishing과정 특히 electropolishing은 튜브내에 내화학적 박막을 형성함으로 부식을 방지시킬 수 있다[22, 29, 48]. 표 5에 나타난것 같이 표면 특성의 향상은 EDX분석에 의해 표면의 Cr 성분증가와 Cr/Fe비의 향상에서 잘 볼 수 있다. 결론적으로, polishing은 316L 스테인레스 강의 내부식성을 향상시킨다[47].

이같은 잇점에도 불구하고 polishing용액 자체의 불순물이 표면의 일부분이 되는 경

우도있다. 황(S)과 인(P)의 불순물은 공정 가스내로 서서히 유출되기도하며, 특히 물 분자와 반응하여 금속표면을 부식시키기도 한다. 마찰에 의한 세척은 황과 인같은 물질을 일부 제거시킬 수 있으며, 특수 세척방법이 개발되어[29, 48] 보다 더 완전히 제거할 수 있게되었다. 그림 2는 스테인레스 강의 황과 인 불순물제거 정도를 특수세척한 것과 하지않은 것과의 EDX결과를 보여 주고 있다.

위에서 언급한 것은 공정가스에 접하는 모든 가스취급 부품들—즉, 튜브, 밸브, 가스조절기, 필터 하우스, 그의 모든 부품등—에 적용된다. 앞에 언급한 것 이외에도 입자

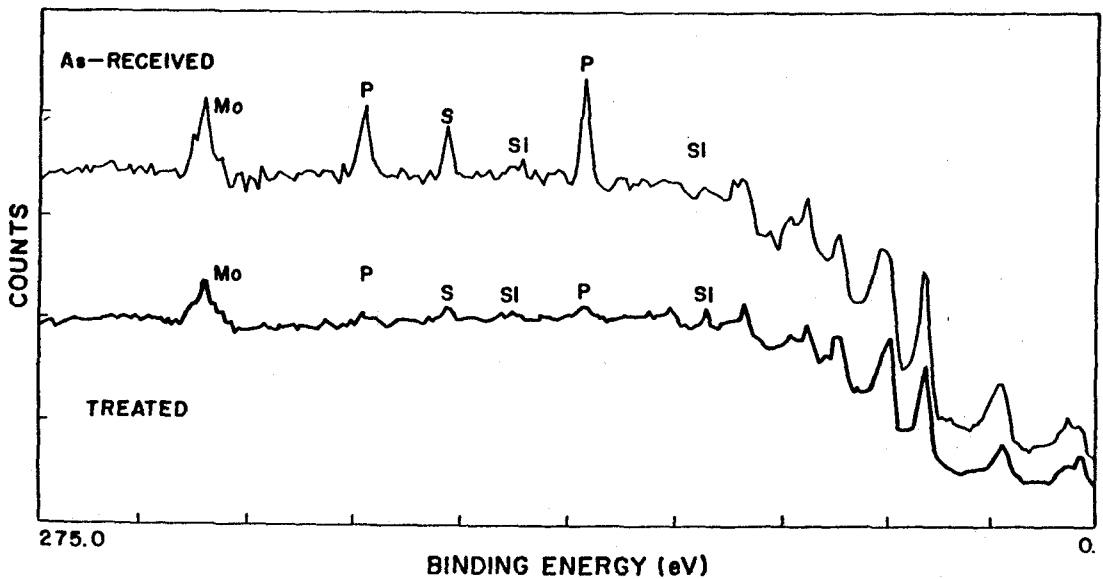


그림 2. 316L SS의 EDX 스펙트럼. (a) electropolished된 것, (b) electropolished된 후 특수 표면처리 된 것. S와 P가 특수 표면처리 된후 많이 감소되었다.

발생에 영향을 미치는 여러부품의 특성들이 있다.

### 밸브

밸브의 입자발생 특성은 밸브의 설계, 제작과 포장, 그리고 설치방법에 따라 입자발생량과 발생 지속 시간이 달라진다[12, 19]. 표 6은 다양한 형태의 밸브를 여러방법으로 작동시켰을 경우 발생하는 입자의 농도를 나타내고 있다. 밸브가 완전히 열렸을 때 가장 작은 양의 입자 발생을 보였다

[12, 19]. 밸브의 입자 발생은 움직이는 부분의 기계적 마찰에 의한 마멸, 또는 윤활제에 의해 발생된다. 이같은 원인은 밸브의 적합한 설계와 세척 그리고 청결한 포장으로 입자의 발생량을 최소화 시킬 수 있다. 밸브내의 가스 순환역(recirculation zone)은 입자를 포집하며, 후에 입자를 천천히 유출시킴으로 이의 제거가 필요하다[35, 40]. 최근에 설계된 초청정용 밸브는 거의 입자의 발생이 없는 것으로 보고되었다[12, 40].

표 6. 여러조건하에서 밸브의 운전 조건에 따른 0.1 $\mu$ m 보다 큰 입자의 농도 (#/ft<sup>3</sup>)

Valve	Particles > 0.1 $\mu$ m/SCF		
	Fully open	Initial throttle	16h throttle
Ball			
Vendor 1	2.2	362.2	8,139.1
Bellows			
Vendor 2	1.1	887.4	166.2
Bellows			
Vendor 3		24.0	100.5
"Off the shelf"	6.8	26.3	14.8
Cleaned	2.1	29.3	2.6
EP & Cleaned	1.2		
Diaphragm			
Vendor 1			
With purge ports	1.2	11.6	4.0
Without purge ports	1.2	2.0	1.8
Diaphragm			
Vendor 2	4.1	266.0	31.7
Diaphragm			
Vendor 3	1.9	2.9	2.3
Diphragm			
Vendor 4	1.5	1.5	1.4

## 필터

필터는 가스공급라인에서 가장 중요하며 입자 제거에 가장 효율적인 부품이다. 초청정 공정가스 라인에 사용하는 필터설치시 고려해야할 사항에 대해 나열하였다.

- 필터의 가공과 포장과정시 불순물들이 필터에 남아있을 수 있으며, 통과가스의 속도에 따라 다르지만 수 시간 혹은 수일간 새 필터로 부터 입자의 유출이 일어 날 수 있다[12]. 이런 현상을 방지하기 위해서는 사용전에 미리 클리닝을 한다.
- 필터 하우스중으로 부터도 입자의 방출이 생길 수 있으며[20, 25], 이들은 필터 shedding의 원인이 될 수도 있다.
- 필터는 입자를 제거 시킬 수 있지만, 고순도 가스내에 기준치 이상의 불필요한 가스를 방출시킬 수 있다. 이 때문에 높은 온도에 구울 수 있는 세라믹 필터가 경우에 따라서 고려되고 있다[40].
- 필터는 종종  $7 \times 10^5 \text{Pa}$ 정도 고압의 불활성 가스나 대기속에서 테스트되기도 하며, 반응성 가스나 높은 압력차 혹은 기계적 충격하의 필터성능에 대해 아직 의문으로 남아있다.

## 튜브밴딩(Tube bending)

가스공급라인 설치시 종종 간과하고 지나가는 경우로 공통적인 오염근원에 관해서다. 예를 들면, 가스공급 시스템에는 여러번의 튜브밴딩이 필요하다. 밴딩과정시 잘 polishing된 튜브표면에 미세한 크랙이나 슬립, 변형 등이 생길 수 있다. 앞에 언급하였듯이 이 같은 표면은 입자나 불순물등을 포집할 수 있게된다. 이 같은 밴딩은 스테인레스관의 Cr표면을 손상시킬 수 있지만[22, 29], 최근 실험에 의하면 밴딩후 내화학적 표면의 손상은 많지않은 것으로 보고되었다[48].

많은 양의 입자들이 밴딩시 발생할 수 있으며, 이들 입자의 성분 분석에 의하면 금속표면의 산화물이나 비금속 산입물등으로 나타났다[18]. 표 7에 나타났듯이 mill-finished 튜브가 가장 많이 입자를 방출하고 electropolished 튜브가 가장 적게 방출한다[12]. 튜브 밴딩의 이같은 특성으로 pre-polished elbow나 밴딩후 polishing등이 고려되고있다[29].

## 연결

튜브밴딩에서와 마찬가지로 고순도 초청정 가스공급라인 연결시 가장 근본적으로 고려해야할 사항이 연결한 곳의 표면형태, 화학성질, 연결중의 입자발생등을 생각하여야 한다. 이와같은 사항을 고려하면 스테인레스강이 바람직하며, 이 점에서 가스팅스

표 7. 직경 3/8inch 316L 튜브 밴딩시 발생하는 0.1 $\mu$ m 보다 큰 입자의 농도 (#ft<sup>3</sup>)와 밴딩후 원래 입자의 농도로 회복되는데 소요되는 시간

Tubing	Band number	Particles > 0.1 $\mu$ m/SCF during bending	Time after bending to return to original background
Electropolished 316L	1	33.3	60a
	2	33.0	0s
	3	0	0s
	4	100	0s
Chempolished 316L	1	300	0s
	2	50	0s
	3	450	30s
	4	400	6s
Mill-finished 316L	1	432,733	> 48 h
	2	119,800	> 48 h
	3	136,300	> 48 h
	4	409,033	> 48 h

텐 아크 용접(gas-tungsten arc welding, GTAW)을 사용한다. GTAW는 스테인레스강에 자연스럽게 매끈한 표면을 형성할 수 있으며 잠재적으로 불순물을 발생시킬 수 있는 금속 충전제나 플럭스 없이 용접할 수 있다. 반면에 동관 시스템은 brazing이나 soldering을 하여야하며, 이 같은 낮은 용융점을 갖는 금속은 시스템의 오염 근원 물질이 된다[12, 52]. GTAW에 의한 튜브용접은 자동용접기에 의해 용접되어 다른 용접방법에 비해 매끄럽고 깨끗한 표면을 형성할 수 있다[21]. GTAW 표면도 현미경적 관찰을 하면 용접처리안된 부분보다 훨씬 요철이 심하며 이것을 최소화 시키기 위하여 용접 변수들을 변화시킬 필요가 있다. 비록

GTAW용접에 불활성 가스를 차폐제로 사용하여도 내화학막이 용접부위 및 가열부위에서 파괴됨이 EDX분석으로 나타났다[22]. 고순도 차폐가스를 사용하였을 경우 내산화막의 손상을 어느정도 줄일 수 있다[12].

GTAW는 다른 용접방법에 비해 매우 깨끗한 표면을 만들 수 있으며, 이 방법은 또한 용접연기의 발생을 최소화 시킴으로 입자발생을 적게할 수 있다[50]. 그럼에도 불구하고 316L 튜브의 GTAW용접시 많은 양의 입자가 발생함을 광학 입자 계수기를 사용하여 발견하였다[12]. 이들 입자의 SEM성분 분석결과 많은양의 산화 마그네슘이 포함되어 있었다. 아마도 파이프나 불활성 차폐가스내의 산소화 금속 망간 연기

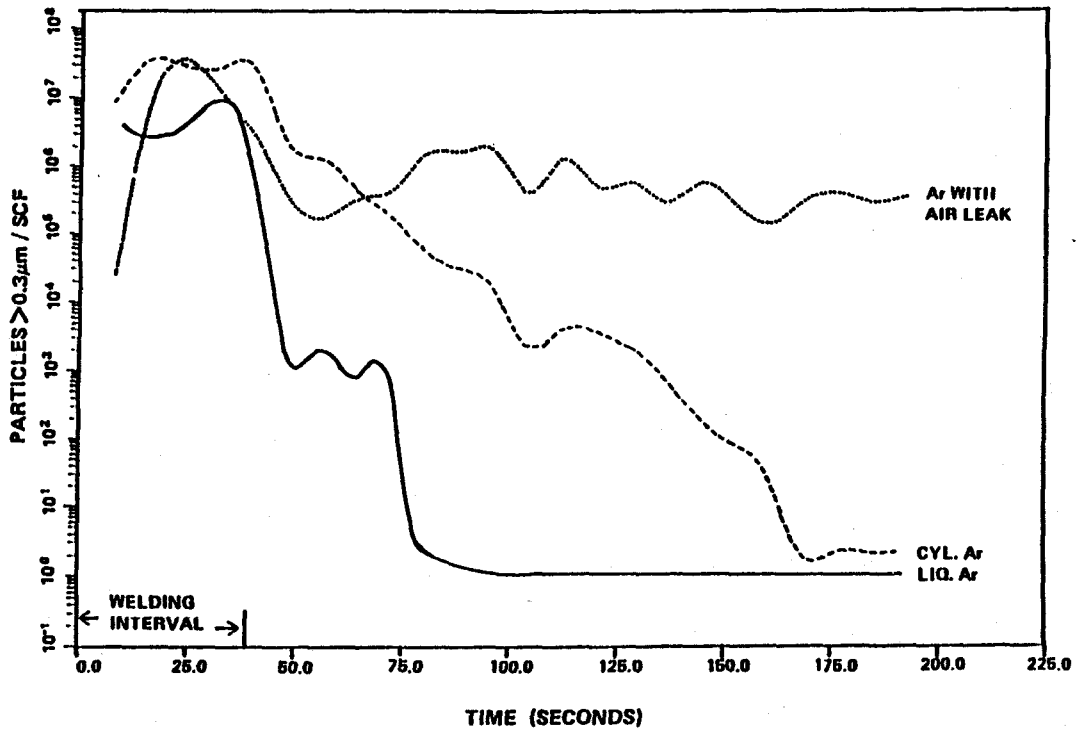


그림 3. 아르곤 분위기 하에서 GTAW 용접시  $0.3\mu\text{m}$ 보다 큰 입자의 발생 농도

가 반응하여 형성된 것 같다. 그림 3에 나타난 것같이 초고순도의 차폐가스 사용시 입자발생량이 현저히 줄어드는 것을 볼 수 있다. 반면 공기가 섞인 차폐가스는 상당히 많은 양의 입자를 발생시킨다[12].

스테인레스 강의 용접시 고려해야 할 사항은 용접가열부분의 그레인 경계(grain boundary)의 성장이나 크롬양의 감소를 억제시켜야 하며, 그림으로써 결정 경계주위의 부식을 감소시킬 수 있다[45]. 이와 같은 조건을 만족시킬 수 있는 방법은 “L”급(저탄소) 스테인레스 강을 사용하는 것이다.

### 세 정

가스 배관후 세척에 대해서는 보다 많은 연구와 개발이 필요하다. 전에는 최종 세척 작업으로 용매를 묻힌 천을 배관내로 밀어 넣어 하였다. 이같은 일을 반복하여 맨눈으로 보았을 때 천이 깨끗하면 세정작업이 완료된 것으로 간주되었다. 이같은 방법은 미립자를 닦아 낼 수 없을 뿐만아니라 용매에 들어있던 불순물이 튜브내에 남게 될 수도 있게된다[52]. 고순도 가스에 의한 purging 방법도 사용되며, 입자계수기를 사용해 잔류 입자의 제거 정도도 측정할 수 있다. 그림

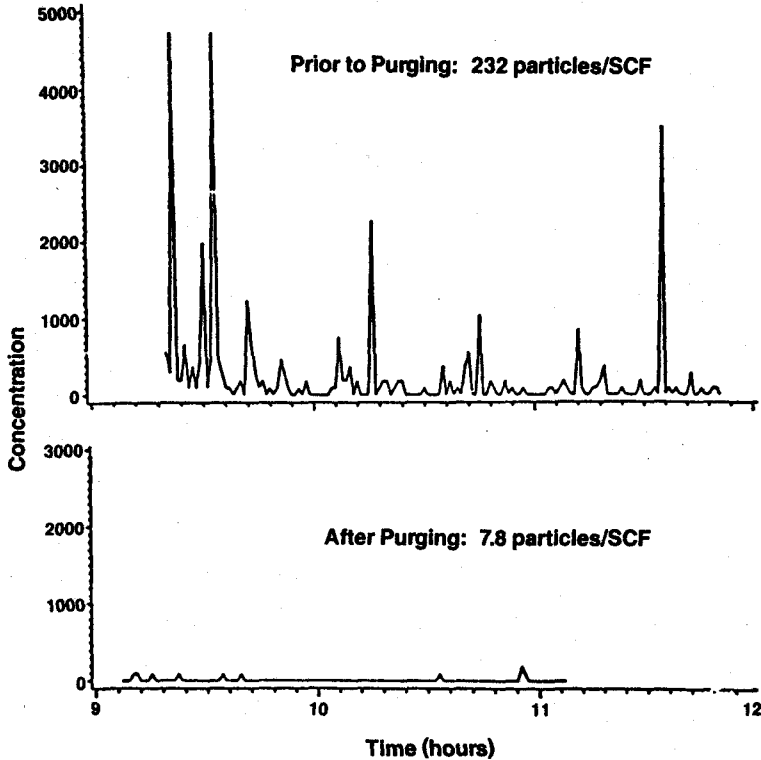


그림 4. 사용시점에서  $0.1\mu\text{m}$ 보다 큰 입자의 발생 농도( $\#/ft^3$ ).

- (a) 처음 purging시의 입자 발생
- (b) 1주일 purging후 입자 발생

4는 첫가동시 질소가스 공급선에서의 입자 농도와 1주일 purging후의 입자 농도를 나타내고 있다.

### 전체시스템

공정가스내 입자의 발생은 가스취급 시스템의 여러가지 변수-즉, 재질, 표면 처리, 제조기술 및 설계기술등-에 의해 영향을 받는다. 가스의 청정도는 가스취급 시스템에서 가장 오염된 부분의 의해 결정되며, 전

체시스템의 견지에서보면 전체 입자 농도의 감소를 위하여 각각의 변수들을 합리적으로 선택해 설계하여야 한다.

### 장래의 방향

반도체 공정가스내의 입자 제어방법에는 입자측정, 성분분석 그리고 입자농도의 최소화에 있다고하겠다. 최근의 측정 기술은 현재의 입자 스펙(specification)에 맞힐 수 있도록 발달되어 있지만, 장래에 요구되는

입자의 측정 스펙을 맞추기에는 부족하다. 즉, 입자의 농도가 매우 낮은 경우 그리고 입자의 크기가  $0.1\mu\text{m}$ 보다 작을 경우의 측정에는 현재 기술로는 어렵다. 현재 적용되고 있는 bulk가스에 대한 규격이 고압가스, 반응성 가스 및 유독성 가스에도 점차 적용되어가고 있다. 이와같은 요구는 입자분석 기술과 배관재료의 지속적인 향상이 필요하다. 지금까지 입자제어의 중요성을 설명하였지만 화학 물질내의 화학적 불순물도 매우 중요함으로 화학물의 불순물에 대한 분석 및 제거에 대해서도 많은 관심이 필요하다.

#### — 참고 문헌 —

1. Kang-Ho Ahn and S. J. Miller, 1990, Particle Sampling and Element Analysis From semiconductor Manufacturing Equipment, 클린룸 기술과 오염제어에 관한 국제 심포지움, pp 229-262.
2. Anewalt, M.K., D.M. Drummer, and J.V. Martinez de Pinillos. 1984. Surface Studies of Semiconductor Processing Piping: 316L Stainless Steel. In: Proceedings-Inst. Env. Sci. 1984, pp 32-43.
3. Belyaev, S.P., and L.M. Levin. 1974. Techniques for Collection of Representative Aerosol Samples, *Aerosol Science*, 5:325-338.
4. Borkman, J.D., and M.L. Malczewski. 1986. High Purity Nitrogen Pipeline Certification. In: *Proceedings of Semicon/West '86*, pp. 194-203.
5. Boyd, H. 1986. Achieving Future Requirements in VLSI Gases. *Semiconductor International*, Aug., pp. 72-75.
6. Bzik, T.J. 1986. Statistical Analysis of Data for Ultraclean Systems. In: *Proceedings Microcontamination Conf.* 1986, pp. 49-61.
7. Cheung, S.D., and R.P. Roberge. 1987. An Inside Look at Measuring Particles in Process Equipment. *Microcontamination*, 5(5):45-50, 90.
8. Cooper, D. W. 1986. Minimizing Bias in Sampling Contaminant Particles, *Solid State Tech.*, 29(1):73-79.
9. Davidson, J.M. 1987. Determination of Particle Origins in High Purity Gases. *Solid State Tech.*, 30(7):63-67.
10. Davidson, J.M. and T.P. Ruane. 1986. Gas Handling Hardware: Considerations for Ensuring Gas Purity. In: *Proceedings-Semicon/West '86*, pp. 185-193.
11. Davidson, J.M., and T.P. Ruane. 1987. Particle Control in VLSI Gases. In: *Emerging Semiconductor Technology*,



- ASTM-STP 960, D.C.Gupta and P.H. Langer, eds. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
12. Davidson, J.M., R. Sherman, and P. Irion. 1987. Particle Minimization in Gases Used in IC Fabrication. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> symposium on Automated Integrated Circuits Manufacturing, Vol. 88-3, pp.136-149, the Electrochemical Society, 10 South Main St., Pennington, NJ 08534-2896.
  13. Dennis, R., ed. 1976. *Handbook on Aerosols*. Technical Information Center, U.S. Energy Research and Development Administration.
  14. Duffalo, J.M., and J.R. Monkowski. 1984. Particle Contamination and Device Performance. *Solid State Tech.*, 27(3): 109-114.
  15. Fenz, F.A., and E.G. Kelleher. 1980. Studies of Attrition Rates In Fluid-Particle Systems via Free Fall, Grid Jets, and Cyclone Impact. *J. Powder & Bulk Tech.*, 4(2/3):13-20.
  16. Friend, R. 1976. *Corrosion of Nickel and Nickel-Base Alloys*. John Wiley & Sons, New York, NY.
  17. Fuchs, N.A. 1975. Sampling of Aerosols. *Atm. Env.*, 19:697-707.
  18. Gerristead, W.R., Jr., R. Sherman, and J. M. Davidson. 1987. Automated SEM/ Microprobe Finds Gas Contaminants, Determines Sources. *Research & Development*, 29(6):93-100.
  19. Govers, T., G. Torelli, D. Gary, and C. diGiulio. 1986. Particle Generation by 1/4" and 3.8" Manual Valves for High Purity Gas Service; A comparative Evaluation. In: *Proceedings - Microcontamination Conf.* 1986, pp. 105-110.
  20. Grant, D.C. 1987. Particle Shedding from Semiconductor Process Gas Filters. In: *Proceedings - Inst. Env. Sci* 1987. pp.370-374.
  21. Henon, B.K., and J.S. Overton. 1988. Design Planning for Class 1 UHP Stainless Steel Process Gas Piping System. *Microcontamination*, 6(2):43-48.
  22. Jensen, D. 1987. Reducing Microcontamination Generation and Entrapment Within High Purity Gas Distribution System. *Microcontamination*, 5(5): 52-62, 97.
  23. Kanno, Y., and T. Ohmi. 1988. Components Key to Developing Contamination Free Gas Supply. *Microcon-*

- tanmination*, 6(12) : 23-30, 56.
24. Kasper, G., and H.Y.Wen. 1985. Particle Technology for High Purity Gases. In: *Proceedings—Inst. Env. Sci.* 1985. p. 106.
  25. Kasper, G., and H. Y. Wen. 1987. On the Origin of Residual Particles Afetr HP Gas Filtration. In : *Proceedings — Inst. Env. Sci.* 1987, pp. 375-377.
  26. Knollenberg, R.G., 1987. Sizing Particles at High Sensitivity in High Molecular Scattering Environments. In : *Proceeding—Inst. Env. Sci.* 1987, pp. 428-435.
  27. Kroll, W. 1984. Contamination Prevention and Protection for Process Gases. *Solid State Tech.*, 27(5) : 220-227.
  28. Kroll, W. J., and J.A.Duran. 1988. Semiconductor Cylinder Gas Purity. *Microelectronic Man. and Test.*, Feb., pp. 28-30.
  29. Kumar, A., and C.E.Dyer. 1987. Characterization of Surface Treated 316L Stainless Steel Tubings to Prevent Contamination in Gas Distribution Systems. *Solid State Tech.*, 30(2):89-94.
  30. Latimer, R.E. 1967. Distillation of Air, *Chem, Eng. Prog.*, 63(2):35-59.
  31. Lieberman, A. 1985. Perspectives on Particle Counting Technology. *Microcontamination*, 3(3):31-40.
  32. Liu, B.Y.H., and D.Y.H.Pui. 1985. A Universal Aerosol Sampling Probe for High Efficiency Sampling from Flowing Gas Streams. *Part. Charact.*, 2:125-132.
  33. Lowles, D.C. 1985. Introduction to Improved Gas Quality for High Technology Industries, In : *Proceedings — Microcircuit Pure Materials Conf.* 1985, pp.214-225.
  34. Lowles, D.C., and G. M. Tom. 1986. Improving Process Gas Purity Through System Design and Testing. *Microcontamination*, 4(12):35-39.
  35. MacDermott, W.T., and R.C.Ockovic. 1987. Particle Deposition in Pressurized Gas Sampling Systems. In: *Proceedings — Inst. Env. Sci.* 1987, pp. 392-399.
  36. Malczewski, M.L., and J.B.Goddard. 1986. Particle Analysis in Nitrogen: A Case Study. In : *Proceeding Microcontamination Conf.* 1986, pp. 81-88.
  37. Malczewski, M.L., J.D.Vorkman, and G. T.Vardian. 1986. Measurement of Particulates in Filtered Process Gas Streams. *Solid State Tech.*, 29(4):151-157.

38. Martinez de Pinillos, J.V., P.J. Martis, and D.M. Drummer. 1986. Metals in Corrosive Chemical : An Overview. In : *Proceeding—Microcontamination Conf.* 1986. pp. 80—104.
39. Nowakowski, E.E., and J.V. Martinez de Pinillos. 1985. In-Situ Monitoring of Particles in Gases. In: *Proceeding—Microcontamination Conf.* 1985, pp. 160—176.
40. Ohmi, T., J. Murota, Y. Kanno, Y. Mitsui, K. Sugiyama, T. Kawasaki, and H. Kawano. 1987. Ultra Clean Gas Delivery System for VLSI Fabrication and Its Evaluation. Presented at Electrochemical Society Spring Meeting, Philadelphia and to be published in the *Proceedings*.
41. Osburn, C.M., H. Berger, R. Donovan, and G. Jones. 1988. The Effects of Contamination on Semiconductor Manufacturing Yield. *J. Inst. Env. Sci.*, 31(2):45—57.
42. Periasamy, R., F.L. Chen, D.S. Ensor, R.P. Donovan, and R. Denyszyn. 1988. Particles in High Pressure Cylinder Gases : Gas to Particle Conversion During Expansion. *J. Env. Sci.*, 31(4):20—25.
43. Pui, D.Y.H., F. Romay—Novas, S.Z. Wang, and B.Y.H. Liu. 1987. Evaluation of Pressure Reducing Devices for High Purity Gas Sampling. In: *Proceeding—Inst. Env. Sci.* 1987, pp. 388—391.
44. Ruheman, M. 1949. *Separation of Gases*. Oxford University Press, Cambridge, England.
45. Sedricks, A.J. 1979. *Corrosion of Stainless Steels*, John Wiley & Sons, New York, NY.
46. SEMI. n.d. SEMI Particle Specification for 20/0.2 Nitrogen or Argon Delivered as Pipeline Gas. Semiconductor Equipment and Materials Institute, Mountain View, CA.
47. Seo, M., and N. Sato. 1980. Surface Characterization of Stainless Steel Prepared with Various Surface Treatments, *Trans. Japan Inst. Met.*, 21(12):805—810.
48. Sherman, R., M. Goto, and J.M. Davidson. (In preparation). Surface Evaluations of Tubing for High—Purity Gas Handling.
49. Sneddon, J. 1986. Direct and Near Real Time Determination of Metallic Compounds in the Atmosphere by A.A. *Amer. Lab.*, March 1, pp. 43—50.
50. Speight, F.Y., and H.C. Campbell, eds, 1979. *Fumes and Gases in the Welding*

- Environment*. American Welding Society, Miami, FL.
51. Stenhouse, J.I.T., and L. Arnold. (In preparation). Particle Contamination of Process Gases from Pipe Internal Surfaces.
  52. Thomas, R.C., 1985. Non-Contaminating Gas Distribution Systems. *Solid State Tech.*, 28(9):153-158.
  53. Thorogood, R.M., and A. Schwartz. 1986. Performance Measurement of Gas Ultrafiltration Cartridges. In: *Proceedings—Inst. Env. Sci.* 1986, pp. 460-467.
  54. Thorogood, R.M., A. Schwartz, W.T. McDermott, and C.D. Holcomb. 1986. Production of Ultrapure Nitrogen for the Electronics Industry. *Microcontamination*, 4(8):29-34.
  55. Tien, J.K., Q and J. M. Davidson. 1975. Oxide Spallation Mechanisms. In: *Stress Effects and the Oxidation of Metals*, pp. 200-219. AIME, New York, NY.
  56. Tolliver, D.L. 1984. Contamination Control: New Dimensions in VLSI Manufacturing. *Solid State Tech.*, 27(3): 129-140.
  57. Tufto, P.A., and K. Willeke. 1982. Dependence of Particulate Sampling Efficiency on Inlet Orientation and Flow Velocities. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 43: 436-443.
  58. Van Slooten, R. A., 1986. Statistical Treatment of Particle Counts in Clean Gases. *Microcontamination*, 4:32-38.
  59. Wen, H.Y., and G. Kasper. 1987. Particle Analysis in Cylinder Gases. In: *Proceedings—Inst. Env. Sci.* 1987, pp. 400-402.
  60. Wen, H.Y., G. Kasper, and D. Montgomery. 1988. Nucleation of Trace Amounts of Condensable Vapors in an Expanding Gas Jet. *J. Aerosol Sci.* 19(1), pp. 153-156.
  61. Whitehouse, D.J. 1974. The Measurement and Analysis of Surfaces. *Trib. Int.*, Dec., pp. 249-259.
  62. Yust, C.S. 1985. Tribology and Wear. *Int. Met. Rev.*, 30(3):141-154.
  63. Zawierucha, R. 1986. High Purity Materials for Gas Distribution Systems. *Microelectronic Man. and Test.*, Feb., pp. 16-19.

본 내용은 R. P. Donovan 저 "Particle Control for Semiconductor Manufacturing" 중 일부를 발췌, 번역, 편저한 것임.