Journal of the Korean Chemical Society
1999, *Vol. 43, No. 4*
Printed in the Republic of Korea

실리콘 웨이퍼 중의 금속 불순물 분석을 위한 시료 전처리

鄭慧瑛* · 金榮勳 · 兪學道 · 李相學†
LG실트론 연구소
†경북대학교 자연과학대학 화학과
(1999. 1. 25 접수)

Sample Pretreatment for the Determination of Metal Impurities in Silicon Wafer

H. Y. Chung*, Y. H. Kim, H. D. Yoo, and S. H. Lee†
R&D Center, LG Siltron , Kumi 730-350, Korea
†Department of Chemistry, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea
(Received January 25, 1999)

요 약. 실리콘 웨이퍼 중의 금속 불순물을 유도결합플라스마-질량분석기(ICP-MS)로 분석하기 위한 시료의 전처리 방법으로 마이크로파 분해법과 산분해법을 비교하였다. HNO_3-HF 혼합용액을 실리콘 웨이퍼 시료에 가하고 마이크로파 분해법과 산분해법으로 용해시킨 후, 용액의 실리콘 매트릭스는 증발 용기 안에서 Si-F의 형태로 증발시켜 분석하였다. 실제 시료에 spike한 Ni, Cr 및 Fe의 회수율은 두 전처리 방법에서 95~106%였다. Cu의 경우는 산분해법이 회수율이 더 좋았고, Zn의 경우는 마이크로파 분해법으로 전처리 한 경우의 회수율이 더 좋았다. Spin coater로 Fe를 오염시킨 실리콘 웨이퍼를 산분해법과 마이크로파 분해법으로 전처리하여 ICP-MS로 분석한 결과, Fe의 농도는 위의 두 전처리 방법에서 거의 차이가 없었다.

ABSTRACT. The analytical results obtained by microwave digestion and acid digestion methods for sample pretreatment to determine metal impurities in silicon wafer by inductively coupled plasma-mass spectrometry(ICP-MS) were compared. In order to decompose the silicon wafer, a mixed solution of HNO_3 and HF was added to the sample and the metal elements were determined after removing the silicon matrix by evaporating silicon in the form of Si-F. The recovery percentages of Ni, Cr and Fe were found to be 95~106% for both microwave digestion and acid digestion methods. The recovery percentage of Cu obtained by the acid digestion method was higher than that obtained by the microwave digestion method. For Zn, however, the microwave digestion method gave better result than the acid digestion method. Fe was added to a silicon wafer using a spin coater. The concentration of Fe in this sample was determined by ICP-MS, and the same results were obtained in the two pretreatment methods.

서 론

반도체 산업이 집적도의 향상과 같은 기술적인 측면에서 빠르게 발전하면서 ultralarge scale integrated-(ULSI) 디바이스 공정에서 요구되는 불순물의 농도 수준이 더욱 낮아지고 있다. 단결정 실리콘은 현재 첨단 산업에서 사용하고 있는 소재 중에서 가장 순수한 물질 중의 하나이다. 단결정 실리콘은 실리콘 반도체의 출발 물질로서 사용되고 있는데, 단결정 실리콘으로 만든 실리콘 웨이퍼의 여러 가지 특성은 디바이스의 성능에 큰 영향을 줄 수 있다. 그 중에서도 금속 불순물들은 디바이스의 전기적 특성에 치명적인 영향을 준다.[1] 실리콘 웨이퍼 중의 Fe, Ni 및 Cu 등과 같은 중금속 원소는 비록 미량 존재하더라도 디바이스에서 역방향 리크 전류의 증가, 산화막 내압의 저하 등과

같은 결과를 초래한다. 따라서 반도체용으로 사용하는 실리콘 중의 불순물은 ppb 혹은 ppt 수준 이하여야 한다.[2,3] 최근까지는 실리콘 웨이퍼 표면의 중금속 오염을 주로 측정하고 있으나 이것은 표면의 중금속 오염만 중요해서가 아니라 실리콘 자체의 중금속 오염 정도를 측정하기가 쉽지 않았기 때문이다. 실제 반도체 디바이스가 위치하게 되는 영역은 표면으로부터 약 10 μm 내외에 불과하지만 디바이스 공정 중의 수많은 열처리 공정 등으로 인해 웨이퍼 내부의 불순물들이 표면 영역에 영향을 줄 수 있어 대부분의 디바이스 회사들은 표면 뿐만 아니라 실리콘 웨이퍼 전체의 금속 불순물 농도 제어에 대한 다양한 연구를 하고 있다. 이와 동시에 ppb 혹은 ppt 수준으로 금속 불순물들이 들어 있는 실리콘 웨이퍼의 품질관리를 위해서는 이런 수준의 농도를 분석할 수 있는 기술이 선행되어야 한다.

실리콘 중의 극미량 불순물을 분석하기 위해서는 secondary ion mass spectrometry(SIMS),[1] spark source mass spectrometry(SSMS),[1] neutron activation analysis (NAA),[4-6] deep level transient spectroscopy(DLTS),[1] inductively coupled plasmamass spectrometry(ICP-MS),[7] graphite furnace atomic absorption spectrometry(GFAAS)[2,3]와 같은 방법들이 사용되고 있다. 일반적으로 SIMS, SSMS, DLTS와 같은 분석법은 검출한계가 높고, NAA는 중성자 발생원으로 원자로를 사용하여야 하기 때문에 사용에 한계가 있다.[2] ICP-MS와 GFAAS는 시료의 전처리에 많은 시간과 노력이 필요하지만, 다른 분석 방법들에 비해 검출한계가 낮고 정확도와 정밀도가 높다는 장점이 있다.

고체 시료의 용해법에는 알칼리 금속 화합물을 사용하여 고온에서 처리하는 알칼리 용융법, HCl, HNO_3 등의 여러 가지 무기산을 이용하는 산분해법, 그리고 마이크로파를 이용하는 마이크로파 분해법[8-15] 등이 있다. 알칼리 용융법은 시료 처리 과정이 복잡하고 시간이 많이 걸리며, 처리 중에 들어가는 시약의 불순물에 의한 영향으로 시료 중의 극미량 불순물 분석에는 적용하기 어렵다.[12] 산분해법은 유기물 및 생체시료에는 많이 이용하고 있지만 처리시간이 길고 안전에 유의하여야 하므로 고순도 실리콘의 분석에는 사용하는 경우가 드물다. 마이크로파를 이용하여 고온, 고압으로 시료를 분해시키는 산처리 방법은 최근 이용이 증가되고 있는 방법으로서 생체시료들의 분석에 널리 이용되고 있고, 여러 가지의 특수한 시료의 분석을 위한 최적 실험조건에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.[12]

본 연구에서는 고순도 실리콘 웨이퍼 중의 금속 불순물을 ICP-MS로 분석하기 위한 시료의 전처리 방법으로 마이크로파를 이용하여 고온, 고압에서 시료를 분해시키는 마이크로파 분해법과 대기압하에서 산으로 분해시키는 산분해법에 대하여 연구하였다. 또한, Fe를 인위적으로 오염시킨 실리콘 웨이퍼 중의 Fe농도를 이들 전처리 방법으로 전처리하여 ICP-MS로 분석한 결과를 비교하였다.

실 험

시 약. 마이크로파 분해 및 산분해를 위하여 사용한 55% HNO_3, 35% H_2O_2, 38% HF는 Tama사(Tama Chemicals, Japan)에서 구입한 불순물의 농도가 10 ppt이하인 고순도 분석용 시약을 사용하였다. Cu, Ni, Zn, Cr 및 Fe의 1000 mg/L 표준용액은 High-Purity Standards사(Charleston, SC, USA)에서 구입하여 사용하였다. 구입한 표준용액의 농도는 표준과학연구원에서 만든 원전 수질분석용 CRM으로 확인하였다. 분석에 사용한 탈이온수는 자체 생산 공장에서 생산된 18 MΩ · cm이상의 탈이온수를 공장에서 실험실까지 연결한 테플론 관을 통하여 공급받아서 사용하였다. 본 실험에 사용한 실리콘 웨이퍼 시료는 CZ(Czochralski)법으로 성장시킨 단결정 실리콘 웨이퍼를 사용하였다.

기기 및 장치. 마이크로파 분해장치는 Milestone사(Milestone,Italy)의 모델 MLS-1200을 사용하였고 마이크로파 분해용 분해용기는 TFM(Tetrafluoromethaxil)으로 만들어진 것을 사용하였다. ICP-MS는 microconcentric nebulizer(MCN), Ryton spray chamber, alumina injector, four-channel peristaltic pump, Cetac autosampler가 장착된 사중극자 형의 Perkin Elmer사(Norwalk, CT, USA)의 모델 Elan 6000을 사용하였다. 본 실험에서 사용한 ICP-MS의 작동조건은 *Table* 1에 나타내었다. 마이크로파 분해법과 산분해법으로 시료를 완전히 용해시킨 후, 시료 매트릭스인 Si를 제거하기 위하여 용액을 증발시켰는데, 이때 사용한 장치(*Fig.* 1)는 본 실험에서 만들어서 사용하였다. 이 장치에서는 외부 환경의 영향으로부터의 오염을 피하기 위하여 질소를 사용하였다. 실험에 사용한

Table 1. Operating conditions for the ICP-MS used to determine trace elements in silicon wafer[a]

RF power	1100 W
RF frequency	40.68 MHz
Nebulizer type	MCN 6000
Plasma gas flow rate	15 L/min
Auxilary gas flow rate	1.2 L/min
Nebulizer gas flow rate	0.95 L/min
Sample uptake rate	94 μ L/min
Sampler cone	Pt(1.1 mm)
Skimmer cone	Pt(0.9 mm)
Quadrupole chamber operating pressure	~1 × 10^{-5} torr
Quadrupole scan mode	Peak hopping
Ion lens voltage	Dynamic
Dwell time/mass	50 ms
Number of sweeps	30
Number of replicates	10
Integration time/mass	1500 ms
Detector	ETP(AF210J)

[a]Perkin Elmer model Elan 6000 was used.

pipette tips, containers 및 autosampler tubes는 폴리프로필렌이나 테플론으로 만들어진 것을 사용하였다.

실험방법. 본 실험에서는 마이크로파 분해법과 산분해법을 이용하여 실리콘 웨이퍼 시료를 분해시켰다. 마이크로파 분해법을 이용한 실험방법은 다음과 같다. 약 0.3 g인 시료의 무게를 달아서 TFM 분해용기에 넣고, 시료가 젖을 정도로 3 mL의 HNO_3, 2 mL의 H_2O_2 및 3 mL의 HF을 넣는다. 시료가 들어 있는 진한 HNO_3용액에 HF을 넣으면 황갈색 기체가 생기면서 반응이 급격히 일어나므로 이 반응을 억제시키기

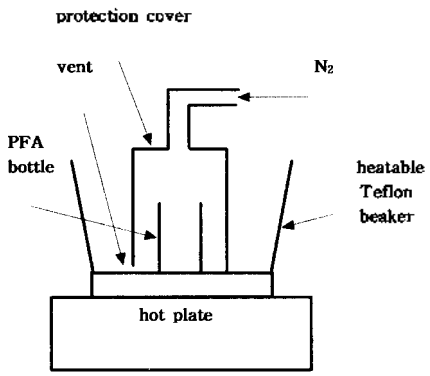

Fig. 1. Assembly for the evaporation of sample solution in the acid digestion and microwave digestion methods: The material of sample bottle and protection cover is PFA.

위하여 H_2O_2를 HF보다 먼저 넣는다. 분해용기의 마개를 닫고 마이크로파 오븐 안에 넣어서 프로그램을 실행시켜 용해시킨다. 용해가 끝나면 분해용기의 온도가 상온이 될 때까지 식혀서 분해용기 안의 기체를 내보낸 후, 마개를 연다. 충분히 냉각되지 않은 상태에서 열면 내부의 압력에 의해 시료가 누출될 수 있다.[14]

산분해법을 이용하여 실리콘을 용해시킬 때에는 실리콘 웨이퍼 시료 약 0.5 g을 PFA(perfluoroalkoxy) 용기에 넣고, HNO_3와 HF 혼합용액 15 mL를 조금씩 첨가하면서 용해시킨다. 황갈색 기체가 발생되지 않으면 PFA용기 뚜껑을 닫고 가열판 위에서 10분간 가열하여 시료를 완전히 용해시킨다. 마이크로파 분해법과 산분해법으로 실리콘을 용해시킨 용액은 가열판 위의 증발용기 안에서 증발시켜 용액 중의 실리콘을 SiF_4의 형태로 휘발시킨다.[16] 용액이 완전히 마를 때까지 가열한 후, 2% HNO_3 용액 10 mL로 묽혀서 ICP-MS로 측정하였다. 바탕용액은 시료를 넣지 않고, 다른 모든 실험조건은 동일하게 하여 만들었다. 검정곡선용 표준용액은 1 mg/L 저장용액을 2% HNO_3 매질에 적절히 묽혀서 만들었다.

결과 및 고찰

시료 분해 조건. 실리콘을 분해시키기 위한 시약으로 HNO_3와 HF를 사용하였다. 실리콘의 용액 중에서의 산화반응(식 1)과 식각반응(식 2)이 동시에 일어나는 것으로 알려져 있다.[17-19]

HNO_3에 의한 산화

$$Si+4HNO_3 \longrightarrow SiO_2+4NO_2+2H_2O \quad (1)$$

HF에 의한 SiO_2의 식각

$$SiO_2+6HF \longrightarrow H_2SiF_6+2H_2O \quad (2)$$

실제로 실리콘을 상온, 대기압 하에서 분해시킬 때에 HNO_3와 HF를 넣으면 황갈색의 기체가 발생되면서 격렬한 반응이 일어나는 것을 볼 수 있었다. HNO_3와 HF의 최적 부피비를 구하기 위하여 진한 HNO_3와 HF의 부피비를 변화시키면서 0.2g의 실리콘 웨이퍼 시료가 완전히 용해되는 시간을 조사하였다. 그 결과를 *Fig.* 2에 나타내었다. HNO_3와 HF가 1:1(volume ratio)일 때 가장 빨리 분해됨을 알 수 있었다. 또한, HNO_3와 HF를 1:1로 하더라도 시료의 양이 많으면 분해시간이 오래 걸리므로 이 때는 급격한 반응이 줄어들 때쯤, PFA의 뚜껑을 닫고 200°C 가열

판 위에서 10분 정도 가열하여 분해시켰다. 용액 속에 H_2O_2가 있으면 HNO_3의 자동촉매반응을 방해하여 실리콘의 산화반응의 속도가 감소한다.[19] 따라서, 산분해법으로 실리콘을 분해할 때는 H_2O_2를 넣으면 반응이 급격히 억제되어 반응시간이 많이 걸리므로 H_2O_2는 사용하지 않았다.

마이크로파 분해법에서는 실리콘 시료를 분해시키는데 필요한 최소한의 시약을 사용하여 투명하고 맑은 용액이 되는 조건으로 분해하였고, 이 때의 작동조건은 *Table* 2에 나타내었다. HNO_3와 HF를 사용하여 마이크로파 분해법으로 실리콘 웨이퍼 시료를 분해시킬 경우, 실리콘이 산화되면서 발생하는 NO_2기체가 테플론 분해용기 표면에 침투하여 용기가 심하게 변색된다. NO_2기체의 발생량을 줄이기 위하여 H_2O_2를 사용하였는데, 산분해법과는 달리 H_2O_2를 사용하여도 실리콘이 잘 용해되었다.

산분해법이 마이크로파 분해법보다 분해시간이 많이 걸린다고 하는 단점은 가열판 위에서 10분정도 가열하여 분해시간을 단축시킴으로써 극복할 수 있었다. 마이크로파 분해법에서 water cooling장치를 사용하지 않고 상온에서 cooling시킬 때에는 오히려 산분해법보다 시간이 많이 걸렸다.

Si매트릭스의 제거. 마이크로파 분해법이나 산분해법으로 시료를 분해시킨 용액은 실리콘이 고농도로 용해되어 있는 산 혼합용액이므로 ICP-MS에 직접 도입시킬 수가 없다. 따라서 ICP-MS에 주입할 수 있는 용액으로 만들어 주기 위하여 우선 가열판 위에서 가열하여 용액 속의 Si를 SiF_4형태로 휘발시켜 제거하고, 동시에 과량의 산도 함께 제거하였다. Si를 증발시키기 위하여 사용한 가열판의 온도를 180, 200 및 250°C 로 변화시키면서 증발이 완료될 때까지 걸리는 시간을 조사한 결과, 10 mL용액을 증발시키는 데에 각각 170, 130 및 80분이 걸렸다. 각 온도에서 바탕

Table 2. Operating conditions for the microwave digestion system to dissolve silicon wafer for the determination of trace metal elements by ICP-MS[a]

	Step				
	1	2	3	4	5
Power (W)	250	450	650	250	Vent
Time (min)	5	5	5	5	5

[a]0.3g sample was used. The volume of each acid used was 3 mL, 2 mL and 3 mL for HNO_3, H_2O_2 and HF, respectively. Digestion vessel used was HPS-100/110 (Milestone).

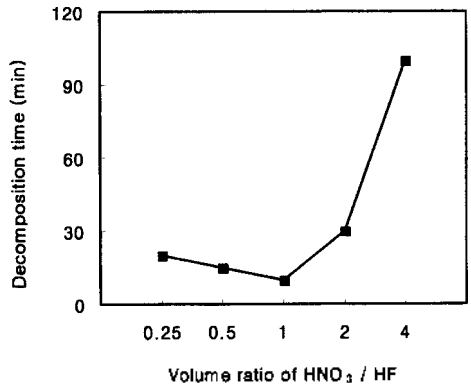

Fig. 2. Effects of the volume ratio of HNO_3 to HF used for the acid digestion method on the decomposition time: 0.2 g of silicon wafer was used.

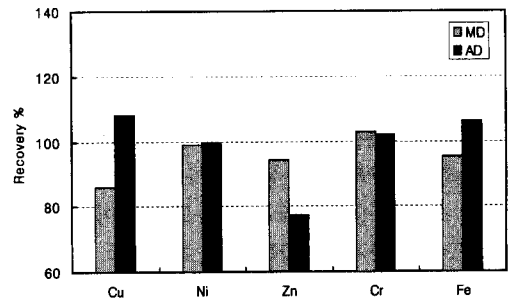

Fig. 3. Recoveries of the spikes added to the silicon wafer sample for the acid digestion (AD) and microwave digestion (MD) methods: The spiked concentration of each element is 1 μg/L.

용액에 농도를 알고 있는 표준용액을 첨가하여 회수율 실험을 한 결과, 분석 대상원소인 Cu, Ni, Zn, Cr 및 Fe의 회수율은 온도에 상관없이 대부분 100%에 가까운 값을 보였다. 온도가 높을수록 증발시간이 적게 걸린다는 장점이 있지만 사용한 PFA용기의 사용 가능한 온도가 250 °C까지이므로 이 보다 낮은 온도인 200 °C를 증발온도로 설정하였다.

마이크로파 분해법과 산분해법에서의 회수율. 마이크로파 분해법과 산분해법으로 시료를 전처리하였을 때의 회수율을 조사하였다. 100 μg/L의 Cu, Ni, Zn, Cr 및 Fe 혼합용액 0.1 mL를 실리콘 웨이퍼 시료에 첨가하여 마이크로파 분해법과 산분해법으로 분해한 후, ICP-MS로 구한 회수율을 *Fig.* 3에 나타내었다. 마이크로파 분해법에서는 시료와 HNO_3 및 HF를 용기에 넣고 spike를 첨가하였고, 산분해법에서는 시료가 들어 있는 분해용기에 HNO_3을 넣고, 표준용액을

넣은 다음에 HF을 첨가하였다. *Fig.* 3에서 볼 수 있듯이 두 가지 전처리 방법에서 Ni, Cr 및 Fe는 100%에 가까운 회수율을 보였다. 그러나 마이크로파 분해법에서는 Cu의 회수율이 좋지 않았고, 산분해법에서는 Zn의 회수율이 다른 원소들에 비해 낮았다.

바탕용액의 불순물 농도. 산분해법과 마이크로파 분해법으로 시료를 전처리 할 때에 전처리 과정에서 발생할 수 있는 오차를 보정해 주기 위하여 바탕용액에서의 불순물을 분석하였다. 시료를 넣지 않고 다른 모든 과정을 동일하게 하여 ICP-MS로 분석한 바탕용액의 분석결과를 *Table* 3에 나타내었다. 마이크로파 분해법으로 시료를 전처리 하였을 때에 검출된 원소들은 0.05~0.4 μg/L 범위였고, 산분해법으로 시료를 전처리한 바탕용액에서 검출된 원소들의 농도범위는 0.01~0.25 μg/L였다. 전반적으로 산분해법으로 전처리한 바탕용액에서 본 실험에서 분석한 원소의 농도가 낮게 나타남을 볼 수 있다. 이 실험에서 사용한 마이크로파 분해용기는 2 개월 동안 계속 사용해 왔던 용기임에도 불구하고 이 용기를 사용하여 전처리한 바탕용액 중의 불순물 농도는 처음보다 많이 낮아지기는 했지만 산 분해법보다는 높고 재현성도 좋지 않았다. 이 이유는 마이크로파 분해법에서 사용한 분해용기의 재질에 의한 영향이라고 생각된다. TFM 재질의 분해용기는 다른 재질보다 불순물의 농도는 낮지만 표면이 다공성으로 되어 있어서 오염이 되었을 때에 잘 제거가 되지 않은 것으로 생각된다. 마이크로파 분해법 분해용기를 사용하였을 때의 바탕용액에서 Al의 농도가 3.5개월이 지난 후에야 겨우 0.6 ppb 정도의 안정적인 값을 얻었다는 보고도 있다.[20] 따라서 실리콘 웨이퍼와 같은 고순도 시료 중의 불순물을 분석하는 데에는 바탕용액의 불순물 농도가 낮은 산분해법이 시료처리 과정에서 오차를 유발할 가능성이 적음을 알 수 있다.

Table 3. Analytical results of the blank solutions resulted from the acid digestion method and the microwave digestion method to determine trace elements in silicon wafer by ICP-MS[a]

Element	Acid digestion	Microwave digestion
	(μg/L)	(μg/L)
Cu	0.03±0.04	0.05±0.04
Ni	0.03±0.05	0.13±0.2
Zn	0.01±0.02	0.13±0.1
Cr	0.01±0.01	0.07±0.09
Fe	0.25±0.15	0.44±0.21

[a]Errors indicated are standard deviations of 6 and 30 replicate analyses using the acid digestion method and the microwave digestion method, respectively.

Fe로 오염시킨 실리콘 웨이퍼의 분석. 실리콘 웨이퍼 중의 금속 불순물의 분석결과를 검정할 수 있는 인증 기준물질을 구할 수가 없어서 본 실험에서는 실리콘 웨이퍼에 강제로 Fe를 오염을 시켜서 만든 시료를 마이크로파 분해법과 산분해법으로 전처리 하여서 그 결과를 비교하였다.[21] 실리콘 웨이퍼를 오염시키기 위하여 spin coater를 이용하여 실리콘 웨이퍼에 농도를 알고 있는 용액을 떨어뜨린 후, 3000 rpm의 빠른 속도로 회전시켜 용액이 실리콘 웨이퍼 전면에 퍼지도록 하면서 건조시켰다. 이 웨이퍼를 고온의 전기로에 넣어두면 웨이퍼 표면의 금속 불순물이 실리콘 속으로 확산된다. 본 실험에서는 0.1, 1.0 및 10 ppm 농도의 Fe용액 각 10 mL를 spin coater위에 놓인 실리콘 웨이퍼 위에 떨어뜨려서 실리콘 웨이퍼 표면을 오염시켰다. 전기로에서 열처리가 끝난 웨이퍼를 오염을 방지하면서 작은 시편으로 만들기 위하여 폴리에틸렌 비닐 속에 넣어 작은 조각으로 만든 후, 그 중에서 일부를 시료로 채취하였다. 이렇게 얻은 시료를 마이크로파 분해법과 산분해법으로 전처리하여 ICP-MS로 측정한 결과를 *Fig.* 4에 나타내었다. 정량단위는 실리콘 무게당 Fe의 무게이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 Fe로 오염시킨 실리콘 웨이퍼의 Fe를 마이크로파 분해법과 산분해법으로 분석하였을 때, 그 결과는 거의 차이가 없었다. 이 때 농도 변화에 따른 두 전처리 방법의 결과에 관한 상관계수는 0.9998이었다.

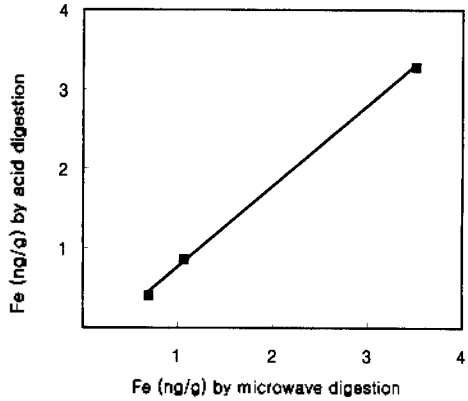

Fig. 4. Relationship between Fe concentrations obtained by the microwave digestion method and the acid digestion method in the silicon wafer bulk.

Table 4. Detection limits for the determination of trace elements in the silicon wafer by ICP-MS using the acid digestion and microwave digestion method[a]

Element	Acid digestion (ng/g)	Microwave digestion (ng/g)
Cu	0.03	0.06
Ni	0.15	0.25
Zn	0.14	0.23
Cr	0.15	0.25
Fe	0.25	0.42

[a]Detection limit for each element is 3 of the blank signal.

검출한계. 마이크로파 분해법과 산분해법으로 전처리하여 ICP-MS로 실리콘 웨이퍼 중의 금속 불순물을 정량할 때의 검출한계를 나타내었다. *Table* 4에 나타낸 검출한계는 2% HNO_3 blank solution의 표준편차의 3배에 해당하는 신호로 정하였다. *Table* 4에 나타낸 결과는 마이크로파 분해법에서는 0.3 g, 산분해법에서는 0.5 g의 시료를 사용하고, 최종 부피는 두 방법에서 모두 10 mL로 하였을 때 ICP-MS에서 얻을 수 있는 검출한계이다. 마이크로파 분해법은 시료량에 제한이 있는 반면, 산분해법은 마이크로파 분해법보다 많은 양의 시료를 사용할 수 있기 때문에 결과적으로 미량의 불순물을 농축하는 효과를 얻을 수 있고, 따라서 검출한계도 낮출 수 있다.

결 론

본 연구에서는 반도체급 고순도 실리콘 웨이퍼 중의 금속 불순물을 ICP-MS로 정량하기 위한 시료 전처리 방법으로 마이크로파 분해법과 산분해법을 검토하였다. 실리콘 웨이퍼 시료에 농도를 아는 표준용액을 spike 하여 전처리를 한 결과, 두 전처리 방법에서 Ni, Cr 및 Fe원소는 100%에 가깝게 회수되었다. Fe를 오염시킨 실리콘 웨이퍼의 Fe분석에서 두 전처리 방법은 거의 차이를 보이지 않았다. 그러나 마이크로파 분해법은 산의 소모량이 적은 반면에 분해용기의 세척이 어렵고, 이로 인한 바탕용액의 농도가 산분해법에서 보다 높고 재현성이 좋지 않았다. 산분해법은 바탕용액의 농도와 재현성이 마이크로파 분해법보다 좋아서 시료처리 과정에서 오차를 유발할 가능성이 적을 것으로 생각된다. 또한, 산분해법은 마이크로파 분해법에 비해 많은 양의 시료를 사용할 수 있게 되어 검출한계를 낮출 수 있는 장점이 있다.

인 용 문 헌

1. Fujinaga, K.; Kudo, K. J. Radioanal. Chem. **1981**, *62*, 195.
2. Shabani, M. B.; Yoshimi, T.; Abe, H. J. Electrochem. Soc. **1996**, *143*, 2025.
3. Shabani, M. B.; Yoshimi, T.; Okuuchi, S.; Abe, H. In Proceedings of The 2nd,International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials; Umeno, M., Ed.; The Japan Society for the Promotion of Science: Kona-Hawaii, U. S. A., 1996; p 481.
4. Park, K. S.; Kim, N. B.; Woo, H. J.; Kim, D. K.; Kim, J. K.; Choi, H. W. J. Radioanal. Nucl. Chem. **1991**, *151*, 72.
5. Fujinaga, K.; Kudo, K. J. Radioanal. Chem. **1979**, 52, 411.
6. Niese, S. J. Radioanal. Chem. **1977**, *38*, 37.
7. Takenaka, M.; Yamada, Y.; Hayashi, M.; Omori, H.; Ito, S.; Okada, A. Bunseki, Kagaku **1997**, *46*, 743.
8. Kingston, H. M.; Jassie, L. B. Anal. Chem. **1986**, *58*, 2534.
9. Zhou, C. Y.; Wong, M. K.; Koh, L. L.; Wee, Y. C. Anal. Sci. **1996**, *12*, 471.
10. S. A. B. Anal. Chem. **1986**, 58, 1424A.
11. Coedo, A. G.; Lopez, T. D. ISIJ International **1994**, *34*, 997.
12. Lamble, K.; Hill, S. J. Analyst **1995**, *120*, 413.
13. Kingston, H. M.; Jassie, L. B. Introduction to Microwave Sample Preparation; American Chemical Society: Washington, DC, U. S. A, 1988; p 114.
14. Park, C. J.; Lee, S. H.; Chung, K. S.; Lee, K. W. J. Kor. Chem. Soc. **1993**, *37*, 800.
15. Lim, H. B.; Han, J. R.; Lee, G. H.; Lee, K. W.; Yanagisawa, M. J. Kor. Chem.Soc. **1994**, *38*, 411.
16. Mizuike, A. Enrichment Techniques for Inorganic Trace Analysis;Springer-Verlag: Berlin, Germany, 1983; p 25.
17. Schwartz, B.; Robbins, H. J. Electrochem. Soc. **1961**, *108*, 365.
18. Klein, D. L.; D'Stefan, D. J. J. Electrochem. Soc. **1962**, *109*, 37.
19. Park, T. H.; Ko, Y. S.; Shim, T. E.; Lee, J. G.; Kim, Y. K. J. Electrochem. Soc. **1995**, *142*, 571.
20. Skelly, E. M.; Distefano, F. T. Appl. Spectrosc. **1988**, *42*, 1302.
21. Hourai, M.; Naridomi, T.; Oka, Y.; Murakami, K.; Sumita, S.; Fujino, N.; Shiraiwa, T. Jpn. J. Appl. Phys. **1988**, *27*, L2361.