

실리콘에 도핑된 붕소의 정량분석에 대한 공동분석연구

김경중[†] · 김현경 · 문대원 · 홍태은* · 정철성* · 김이경** · 김재남*** · 임철호**** · 김정호*****

한국표준과학연구원 나노표면그룹, *하이닉스반도체 분석개발팀, **케이맥 분석지원부,
포항산업과학연구원 재료물성분석팀, *동부전자주식회사 품질관리팀, *****LG전자기술원 불성연구실
(논문접수일 : 2002년 7월 8일)

RRT Study for the Quantitative Analysis of Boron in Silicon

K. J. Kim[†], H. K. Kim, D. W. Moon, T. E. Hong*, C. S. Jung*,
L. K. Kim**, J. N. Kim***, C. H. Lim****, and J. H. Kim*****

*Korea Research Institute of Standards and Science, *Hynix Semiconductor,
Korea-Materials and Analysis Corp., *Research Institute of Industrial Science and Technology,
****Dongbu Electronics, *****LG Electronics Institute of Technology,*

(Received July 6, 2002)

요 약

반도체 박막의 분석에서 중요한 분석 대상의 하나인 미량 불순물의 정량분석을 위한 표준절차를 확립하고 그에 필요한 인증표준물질의 개발하였으며 이를 이용하여 국내공동분석을 실시하였다. 공동분석에 사용된 붕소가 균질하게 도핑된 박막 인증표준물질과 분석시편은 이온빔 스퍼터증착법에 의해 제작하였으며, 가장 정량적이고 감도가 높은 ICP-MS를 이용한 동위원소희석법으로 인증하였다. 이러한 인증표준물질과 SIMS에 의한 실리콘 내의 붕소의 정량분석에 대해 이미 확립되어 있는 국제표준절차인 ISO/DIS-14237에 의거하여 국내 공동 분석을 시행하였는데, 이번의 공동분석에서 얻어진 붕소농도의 전체 평균값이 ICP-MS에 의한 인증치에 약 2% 정도의 오차를 보여주고 있어 분석의 정확성이 확인되었다.

Abstract

A domestic round robin test(RRT) for the quantitative analysis of minor impurities was performed by a standard procedure and standard reference material. The certified reference material(CRM)s for B-doped Si thin film and analysis specimens and the analysis specimens were prepared by an ion beam sputter deposition method. These samples were certified by inductively coupled plasma mass spectrometry(ICP-MS) with isotope dilution method which is one of the most quantitative methods in chemical analysis. By using an international standard procedure(ISO/DIS-14237) for the quantitative analysis of B in Si by SIMS, a domestic RRT was performed for these specimens. Although only a few laboratories participated in this RRT, the average B concentration well agreed with the certified value within 2% error.

1. 서 론

반도체 물질의 전기적 특성은 반도체 제조과정 동안 미량의 금속 불순물 존재로 인해 쉽게 영향을 받을 수 있다. 따라서 반도체 및 신소재 분야의 발

달로 회로의 선 폭이 수 nm 이하로 좁아지고 얇아지고 있는 요즘에 도핑성분과 미량 불순물들의 함량을 정확히 분석하는 일은 반도체 물질의 성능과 품질향상을 위해 매우 중요하다. 그 중에서도 붕소는 p형 반도체를 제조하기 위한 가장 중요한 도핑

[†] E-mail : kjkim@kriss.re.kr

원소의 하나로 정확한 정량분석이 요구되고 있다. 반도체 실리콘 박막에 도핑된 미량 성분을 정량적으로 분석하기 위해 가장 널리 사용되고 있는 방법으로는 이차이온 질량 분석법(SIMS)을 들 수 있는데 이는 질량분해능과 감도가 매우 높기 때문이다. [1]

표면분석의 표준화를 위해서는 우선적으로 표준 절차를 확립하는 일이 필요하다. 표면분석 표준화 연구는 초기에는 선진국 위주의 VAMAS-SCA에 의해서 주도적으로 연구되어 왔지만 1993년부터는 모든 국가들이 참여하는 국제표준화 기구(ISO) 위주로 진행되고 있다. 표면분석 분과인 ISO/TC-201에는 7개 전문위원회가 구성되어 다양한 표준안을 제정하고 있다. [2,3] 한국은 ISO/TC-201의 5개 기술분과에 P 회원으로 활동하고 있으며 최근에 국제표준안을 제안하여 정식 국제 표준절차로 인정을 받고 있다.

한편 표면분석표준화 연구의 원활한 수행을 위해서는 표준절차와 함께 그 목적에 부합되는 표준물질의 개발이 함께 요구되고 있다. SIMS 분석은 매질효과가 심하여 정량분석이 어렵지만 매질의 효과가 무시되는 농도영역에서는 어느 정도 정량분석이 가능한데 중요한 점은 반드시 표준시료가 있어야 한다는 점이다. [4,5] 이러한 용도의 표준시료로는 이온주입표준시료가 널리 이용되고 있다. 이온주입에 의한 표준시료의 제작은 다양한 원소를 다양한 기판에 주입할 수 있고 주입량 및 주입깊이를 다양하게 조절할 수 있으므로 매우 유용한 방법이다. 이온주입법에 의하여 제작된 NIST SRM 2137은 실리콘 중 붕소 도핑제(dopant)의 SIMS 정량분석을 위한 유일한 인증물질이다. 그러나 이온주입시료를 이용해 정량을 하려면 깊이분포도 측정을 한 후 피크의 면적을 구하고 파여진 깊이를 측정하여 상대감도인자를 구해야 하므로 정량화 절차가 매우 까다롭고 그에 따른 오차가 많으며 특히 불균일한 깊이 분포도를 보여 충분히 깊은 깊이까지 분석해야 정량을 할 수 있다. 따라서 SIMS에 의한 미량성분 정량용 표준시료로서 불순물이 균일하게 도핑된 다결정 실리콘 박막의 개발이 필요하며 이러한 인증 표준물질(CRM) 제작에 있어서 중요한 점은 도핑된 불순물의 농도를 정확하게 분석하여 인증하는 것이다.

본 연구에서는 미량성분 정량용 표준시료로서 붕소가 균일하게 도핑된 다결정 실리콘 박막을 개

발하였으며 붕소의 농도를 가장 정량적이고 감도가 높은 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)를 이용한 동위원소희석법(isotope dilution method)으로 정량하여 이차이온 질량분석법(SIMS)을 사용한 정량분석용 표준시료에 보다 정확한 인증치를 부여할 수 있도록 하였다. [6] 한편 SIMS에 의한 실리콘 내의 붕소의 정량분석에 대한 국제표준절차인 ISO/DIS 14237 [7]에 의거한 국내공동분석을 통해 상호 비교 연구를 수행하였다.

2. 실험 방법

2.1 B-doped Si 박막 CRM의 제작

박막 인증표준물질은 이온빔 스퍼터 증착 시스템에 의해 제작되었다. [8] Si 타겟 위에 작은 크기의 BN 타겟을 고정시킨 후 이온 총의 수직 방향으로 이동시키면서 박막을 증착하면 B의 상대적인 농도를 변화시키면서 박막을 제작할 수 있다. 즉 이온빔이 충돌하는 BN의 상대적인 위치에 따라 이온빔 세기가 달라지고 그 농도가 달라지게 된다. 따라서 위치를 변화시키면서 농도를 구하여 검량선을 얻으면 원하는 농도와 유사한 농도의 박막을 증착할 수 있으며 일단 원하는 농도의 박막이 성장되는 조건이 얻어지면 동일한 조건에서 6인치 실리콘 웨이퍼에 박막을 성장시키는데 균질성을 확보하기 위해 스텝 모터를 이용하여 기판을 회전시킨다. 박막은 Si 웨이퍼와 폴리머인 폴리에스터 위에 동시에 증착되었는데 폴리에스터 위에 성장된 박막은 ICP-MS 분석용으로 용매에 녹여 분석하면 단위부피당 붕소의 농도를 구할 수 있다. 즉 성장된 박막의 두께를 TEM으로 정확히 분석하고 녹여진 박막의 면적을 정확히 알면 전체 부피를 알 수 있으며 따라서 농도 계산이 가능하다.

2.2 ICP-MS에 의한 붕소의 정량 분석

제작된 B-doped Si 박막의 B 농도는 동위원소희석법을 이용한 ICP-MS에 의해 분석되었는데 본 실험에 사용된 ICP-MS는 독일 Finnigan에서 제작한 Element 고분해능 유도결합플라즈마 질량분석기로서 최대분해능 7500을 갖는다. B 표준용액 및 ^{10}B spike 용액은 미

표 1. ICP-MS에 의한 붕소의 농도.

Specimen	Spiking No.	Concentration/atoms cm ⁻³
B1	1	7.13×10^{19}
	2	6.95×10^{19}
	3	6.96×10^{19}
	Mean	7.01×10^{19}
B2	1	4.34×10^{19}
	2	4.42×10^{19}
	3	4.67×10^{19}
	Mean	4.47×10^{19}
B3	1	1.69×10^{19}
	2	1.76×10^{19}
	3	1.75×10^{19}
	Mean	1.73×10^{19}
B4	1	2.73×10^{18}

국의 NIST로부터 구입한 NIST SRM 951, NIST SRM 952로 만들어졌다.

폴리에스터 기판 위에 증착된 B이 도핑된 Si 박막은 특수 제작된 펀치를 사용하여 직경 0.998 cm의 디스크 형태를 만들고 이 디스크의 정확한 직경은 Profile Projector(Model PJ311, Mitutoyo, Tokyo, Japan)로 측정되었다. 여러 가지 용해 실험 결과 B이 도핑된 Si 박막시료의 용해는 B의 손실이 거의 없는 LiOH를 선택하였는데 LiOH는 고순도의 Li foil을 초순수에 녹여 제조하였다. [6]

4종류의 박막을 제작하였는데 시료 B1, B2, B3에 대해서는 각각 3개의 다른 spiking 시료를 만들어서 측정하였으며 시료 B4는 disk 15개를 처리하여 한 개의 spiking 시료를 제조하기 때문에 시료의 부족으로 한 개의 spiking 시료에 대하여 측정하였다. 계산한 측정결과를 표 1에 나타내었는데 별도로 처리하여 측정한 3개의 측정값은 모두 4%의 범위 안에 있음을 볼 수 있다. TEM으로 측정한 B1, B2, B3, B4 박막의 두께는 각각 402, 405, 398, 409 nm이다. 본 공동분석에서 B1은 인증표준물질인 KRISS CRM 03-04-300으로, B2는 분석시편으로 각각 사용되었다.

2.3 SIMS에 의한 붕소의 정량 분석

ICP-MS 결과와 비교해보기 위하여 붕소의 농도를

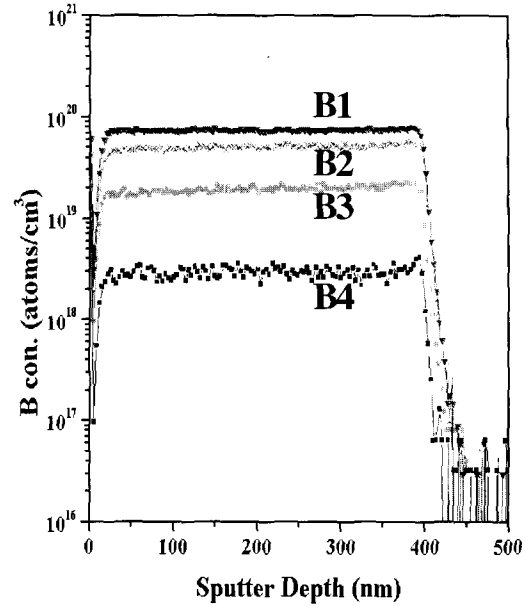


그림 1. B-doped Si 박막의 SIMS 깊이분포도.

SIMS를 이용하여 분석하였다. 그림 1은 제작된 4개의 시료에 대한 SIMS 깊이분포도 결과를 보여주는 데 사용된 장비는 Cameca ims-4f이고 10 keV의 산소이온빔을 이용하여 얻은 positive SIMS이다. B1은 인증표준시료를 기준으로 하여 농도를 얻었으며 나머지는 그에 대한 상대적인 이온농도이다.

정량분석은 B1 시편에 대해 정교하게 이루어졌다. 국제인증표준시료인 NIST SRM-2137을 기준으로 하여 상대감도인자(relative sensitivity factor : RSF)를 구하여 정량하였다. SIMS에 의해 구해진 붕소의 농도는 7.36×10^{19} atom/cm³으로 이는 ICP-MS에 의한 값인 7.01×10^{19} 과 비교할 때 NIST SRM 2137이 제시하는 오차범위인 5% 안에서 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 2에 도시한 것과 같이 B1을 포함한 4개의 시료에 대해 SIMS 정량 분석 결과는 ICP-MS 분석 결과와 매우 좋은 직선성을 보여주는데 이는 제대로 된 표준시료만 있다면 상당한 농도 범위에서 정량적인 결과를 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 한편 이러한 박막은 그림 1에서 볼 수 있듯이 계면이 뚜렷하고 계면 전후에 붕소 이온의 신호세기의 차이가 클 뿐만 아니라 박막의 두께를 정확히 알고 있기 때문에 스퍼터링율을 측정하고 깊이분해능을 향상시켜야 하는 깊이분포도 연구에도 유용하게 이용될 수 있다.

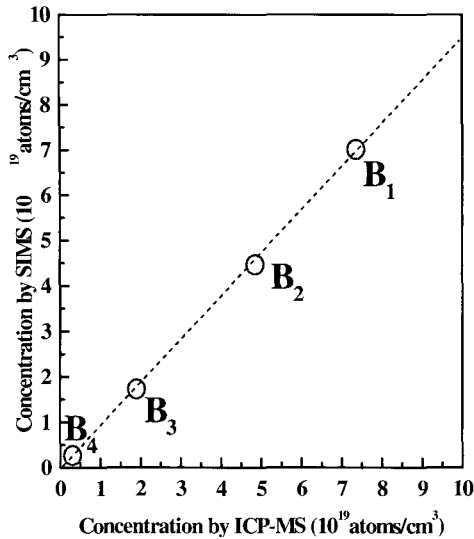


그림 2. ICP-MS와 SIMS에 의한 붕소농도의 비교.

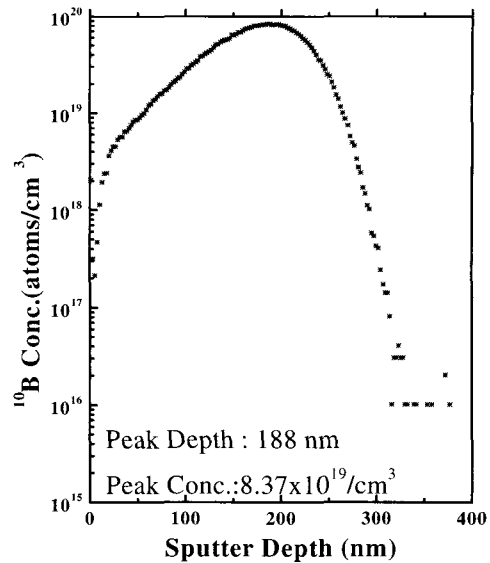


그림 3. 붕소이온주입시료의 SIMS 깊이분포도.

3. 결과 및 고찰

3.1 Si에 도핑된 붕소의 국제 정량분석 절차

본 공동분석에 활용한 표준 절차서는 이차이온 질량분석을 이용하여 실리콘 웨이퍼 내에 균질하게 첨가된 붕소의 원자농도를 측정하기 위한 것이다. 표준절차의 문서번호는 ISO/DIS-14237이고 영문 제목은 “Surface Chemical Analysis - Secondary Ion Mass Spectrometry - Determination of atomic boron content in silicon using uniformly doped materials”이다.

이차이온질량분석법에 의한 정량 분석에는 인증 기준물이 요구되고 있는데 이 인증기준물들은 분석하고자 하는 시편과 같은 매질-불순물의 조합으로 구성되어야 하므로 구하기도 힘들고 가격도 또한 비싼 편이다. 이차이온질량분석의 경우, 모든 측정에 이런 기준물을 불가피하게 소모하고 있으므로 각 분석실에서는 공인된 인증기준물 즉 일차기준물을 가지고 비교, 교정된 이차기준물을 매일의 분석에 사용하여야 한다. ISO/DIS-14237는 1×10^{16} 에서 1×10^{20} atoms/cm³의 농도범위로 도핑된 붕소를 분석하는데 적용되는 표준절차서이다.

일차기준물은 이차기준물의 붕소 원자농도를 결정하는데 사용한다. 일차기준물은 붕소가 이온주입된 실리콘 인증기준물(CRM)이어야 하는데 현재 NIST

SRM 2137(그림 3)이 실리콘 내의 붕소의 정량을 위한 유일한 인증기준물이다.

이차기준물은 측정시료 내의 붕소의 원자농도를 결정하는데 사용된다. 장치의 성능을 확신하기 위하여 두 개의 다른 붕소 도핑 수준을 사용하는 것을 추천한다. 이차기준물은 단결정 실리콘 웨이퍼 또는 100 nm 이상의 두께로 성장시킨 적층실리콘 웨이퍼에 자연동위원소인 붕소가 균질하게 첨가되어야 하며 붕소의 농도 범위가 1×10^{17} - 1×10^{20} atoms/cm³ 이어야 한다.

3.2 붕소도핑 실리콘 박막의 SIMS 공동분석

SIMS에 의한 실리콘 박막에 도핑된 붕소의 정량 분석에 대한 공동분석은 붕소도핑 실리콘 박막 표준시료(KRISS CRM03-04-300)를 표준시료로 하여 미지의 농도의 시편을 분석하는 방식을 이용하였다. 전체적인 정량분석절차는 ISO/DIS-14237는 따랐지만 다른 점은 붕소의 농도를 ICP-MS에 의해 인증된 값을 기준으로 하였다는 점이다. 표준시료의 붕소농도는 $7.01 \pm 0.81 \times 10^{19}$ atoms/cm³이며 박막의 두께는 402 ± 4.5 nm이다. 면적 계산은 그림 4에 나타낸 바와 마찬가지로 박막의 두께를 402 nm로 했을 때 앞과 뒷부분의 50 nm를 제외한 구간 즉 50 nm

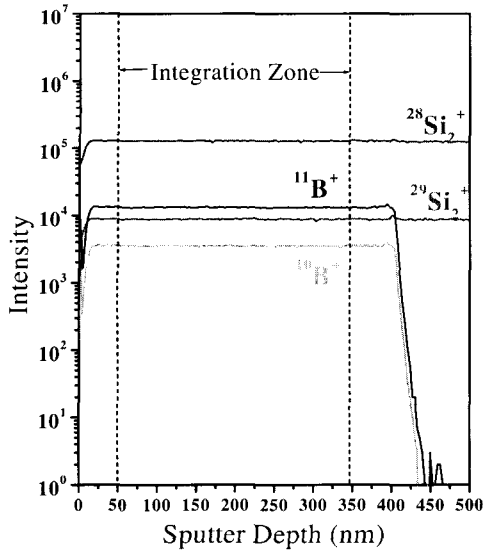


그림 4. 이온세기 면적 계산 구간.

에서 350 nm까지의 구간을 적분하여 상대감도인자를 구한 후 이를 이용하여 정량하였다.

현재 국내에 도입되어 활용이 가능한 SIMS의 수는 약 20대 정도 되며 그 중에서 이번의 공동연구에는 magnetic sector형의 SIMS가 주로 이용되었는데 참여한 연구 기관에는 하이닉스 반도체, 동부전자주식회사, LG전자기술원, 케이맥 등의 산업체를 비롯하여 산업과학연구원, 한국표준과학연구원 등의 정부출연 연구소가 포함되어 있다. 실험 조건은 magnetic sector형 SIMS를 기준으로 하여 정하였는데 그 기준을 표 2에 요약하였다. 모든 조건을 만족할 수 없을 경우에는 가장 비슷한 조건을 원칙으로 하였다. ²⁸Si₂⁺, ²⁹Si⁺을 분석이온으로 정한 이유는 electron multiplier로 분석하기 위함인데 이 경우 신호세기가 작은 ¹⁰B⁺과 ¹¹B⁺을 포함한 모든 이온을 electron multiplier로 검출할 수 있다. 그러나 ²⁸Si⁺, ²⁹Si⁺은 신호 세기가 너무 커서 Faraday Cup으로 분석하여야 하는데 이 경우 서로 다른 두 검출기를 보정해주는 과정에서 오차가 많이 발생할 수 있기 때문이다.

봉소의 정량분석을 위해서는 우선 표준시편에 의한 상대감도인자인 RSF(relative sensitivity factor)를 구해야 하는데 이는 다음과 같은 간단한 식에 의해서 얻어진다.

표 2. 공동분석에 이용된 실험조건 기준.

일차이온	O ₂ ⁺
이온 에너지	10 keV (Impact : 5.5 keV)
이온빔 전류	100 nA
분석 면적	100 μm ² 이하
이온빔 주사면적	분석면적의 4배 이상
기록할 이온	¹⁰ B ⁺ , ¹¹ B ⁺ , ²⁸ Si ₂ ⁺ , ²⁹ Si ⁺
이온세기 측정	electron multiplier
측정 횟수	다른 날 3회

$$RSF = \frac{A_{Si}^{std}}{A_{B10}^{std}} \Phi$$

여기서 A_{Si}^{std}과 A_{B10}^{std}는 각각 표준시편에서 매질 ²⁹Si⁺과 ¹⁰B⁺의 이온세기 면적이며 그림 4에서와 같이 50 nm에서 350 nm까지의 구간을 적분하여 얻은 값이다. Φ는 표준시편에 도핑된 ¹⁰B의 농도로 공동분석에 사용된 KRISS CRM 03-04-300의 경우에 그 값은 1.39±0.16×10¹⁹ atoms/cm³이다. 이렇게 하여 얻어진 상대감도인자를 다음의 식에 적용하여 분석시편에 도핑된 봉소의 농도를 결정하였다.

$$\rho_{B10} = \frac{A_{B10}^{unk}}{A_{Si}^{unk}} RSF$$

$$\rho_B = \rho_{B10}/X_{B10}$$

여기서 A_{Si}^{unk}과 A_{B10}^{unk}는 각각 미지의 시편에서 매질 ²⁹Si⁺과 ¹⁰B⁺의 이온세기 면적이다. ρ_{B10}은 ¹⁰B의 농도이며 ρ_B는 ¹⁰B과 ¹¹B의 농도를 합한 봉소 전체의 농도로 본 공동분석에서 구하고자 하는 값이다. X_{B10}는 동위원소 ¹⁰B의 자연계 동위원소 비율이다.

3.3 공동분석 결과

이번 공동분석에 참여한 6개 기관들의 실험 결과를 표 3에 정리하였다. A, B, C, D, E의 5개 기관은 magnetic sector type인 Cameca SIMS를, F기관은 사중극자형 SIMS를 이용하였다.

본 공동분석에서는 가능한 실험 조건들을 일치시켰음에도 불구하고 실험실간에 비교적 상당한 차

표 3. 공동분석에서 구해진 RSF와 붕소의 농도 ($\times 10^{19}$ atoms/cm³)

기관		1회	2회	3회	평균
A	RSF	7.18	7.23	7.15	7.19
	B농도	4.14	4.17	4.24	4.18
B	RSF	5.11	4.19	5.47	4.92
	B농도	4.01	4.37	4.36	4.25
C	RSF	2.46	2.56	2.59	2.54
	B농도	4/34	4.31	4.32	4.32
D	RSF	6.54	6.50	6.19	6.41
	B농도	4.57	4.56	4.25	4.46
E	RSF	6.87	6.66	6.18	6.57
	B농도	4.42	4.63	5.02	4.69
F	RSF	9.23	9.81	10.6	9.88
	B농도	4.08	4.27	5.02	4.46

이가 있음을 알 수 있다.

우선 RSF가 가장 큰 F 기관은 기종이 다른 사중극자형이라 그렇다 하더라도, 기종이 같은 A~E 기관의 RSF는 각 실험실에 따라 $2.54 \sim 7.19 \times 10^{19}$ atoms/cm³의 커다란 차이를 보여주는데 이는 아마도 분석기의 분석 질량을 결정하는 mass calibration 과정에서의 차이에 기인한다고 생각된다. 일상적인 깊이 분포도 분석에서 항상 분석하고자 하는 이온 피크의 세기가 최대가 되는 부분을 선택하게 되는데 이 과정에서 조금만 벗어나게 되어도 RSF에는 커다란 차이가 생길 수 있다. 그러나 이렇게 RSF가 크에도 불구하고 붕소의 정량값은 비교적 편차가 크지 않고 원래의 값에 잘 일치한다. 이는 기준시료와 동일한 조건을 유지하여 깊이분포도를 얻었기 때문이다.

각 기관에서 얻어진 붕소의 농도를 그림 5에 도시하였다. A기관은 정밀도는 우수하지만 정확도가 다소 떨어지며 F기관은 반대로 정확도는 우수하지만 정밀도가 떨어지는 결과를 보여준다. D 기관의 경우는 비교적 양호한 정확도와 정밀도를 보여주고 있다. 붕소농도의 평균값이 $4.39 \pm 0.07 \times 10^{19}$ atoms/cm³로 ICP-MS에 의해 측정된 미지시료의 농도인 4.47×10^{19} atoms/cm³에 약 2%의 차이를 보일 정도로 유사한 값을 보여준다.

SIMS에 의한 일반적인 정량분석에서 분석하고자 하는 원소에 대한 인증기준 시편이 없을 경우에는

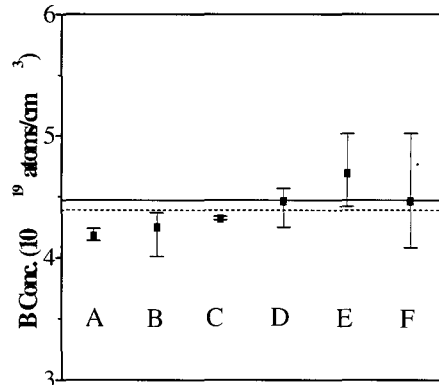


그림 5. 붕소 농도 분석 결과(실선: ICP-MS 결과 점선: 공동 분석 결과의 평균값).

장비제작사가 공급하거나 발표된 상대감도인자를 이용한다. 그러나 이러한 상대감도인자는 장비의 특징, 여러 가지 실험 조건 등에 의해 상당한 오차를 유발할 수밖에 없다. 따라서 보다 정확한 분석을 위해서는 농도가 알려진 인증기준물질을 이용하여 각 실험실의 조건에 맞는 상대감도인자를 측정하여 이용하는 것이고 가장 확실한 방법은 본 공동분석에서 확인된 바와 같이 매일 매일의 일상적인 정량 분석에서 항상 인증기준물질을 기준으로 상대감도인자를 구하고 동일한 조건에서 시편을 분석하여 농도를 구하는 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 실리콘에 도핑된 붕소를 정량하기 위한 방법으로 붕소가 균질하게 도핑된 박막을 제작하였으며 이를 가장 정량적이고 감도가 높은 ICP-MS를 이용한 동위원소 희석법에 의하여 인증하여 인증표준물질로 공급할 수 있도록 하였다. 또한 제작된 인증표준물질과 ISO 국제표준화 절차에 의거하여 국내 공동 분석을 시행한 결과 전체적인 평균값이 ICP-MS에 의한 인증치에 약 2% 정도의 아주 적은 오차범위 내에서 잘 일치하였다. 이는 상대감도인자가 각 분석실에 따라 커다란 오차를 보이는 것에 비하면 매우 정확한 결과라고 할 수 있으며 일상적인 SIMS 정량 분석에서 기준물질이 반드시 필요하다는 것을 의미한다. 본 공동분석에서 사용된 정량분석절차와 인증기준물질을 활용하면

지금까지 사용되어온 이온주입표준시료의 문제점을 크게 개선하여 보다 편리하고 정확하게 실리콘 내의 미량성분을 정량 분석할 수 있음을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 시스템집적반도체 2010 과제와 국가 지정연구실 사업(초박막의 표면계면 분석기술연구)의 일부 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] D. E. Newbury, *Practical Surface Analysis*, Vol. 2, 2nd ed., edited by D. Briggs and M. P. Seah, (John Wiley & Sons, 1992) p. 646.
- [2] C. J. Powell and R. Shimizu, *Surf, Interface Anal.* **27**, 691(1999).
- [3] C. J. Powell and R. Shimizu, *Surf, Interface Anal.* **25**, 860 (1997).
- [4] J. T. Grant, P. Williams, J. Fine and C. J. Powell, *Surf, Interface Anal.* **13**, 46 (1988).
- [5] R. G. Wilson, F. A. Stevie and C. W. Magee, *Secondary Ion Mass Spectrometry*, (Wiley: New York, 1989) ch. 3.
- [6] C. J. Park, K. J. Kim, M. J. Cha, D. S. Lee, *Analyst* **125**, 493 (2000).
- [7] C. J. Powell and R. Shimizu, *Surf. Interface Anal.* **27**, 691 (1999).
- [8] K. J. Kim, Y. Park, D. W. Moon, *J. Kor. Vac. Soc.* **8**, 276 (1999).