

방사광을 이용한 Si 웨이퍼 표면불순물 검출감도 향상

김홍락 · 김광일 · 강성건 · 김동수 · 윤화식* · 류근걸** · 김영주***

(재)포항산업과학연구원 전력전자연구팀

*포항가속기연구소 빔라인연구실

**순천향대학교 재료공학과

*** (주)우리진공

(1998년 11월 10일 접수)

Improvement of detection sensitivity of impurities on Si wafer surface using synchrotron radiation

Heung Rak Kim, Kwang Il Kim, Sung Gun Kang, Dong Soo Kim,
Hwa Shik Yoon*, Kun Kul Ryoo** and Young Joo Kim***

Power Electronics team, Research Institute of Industrial Science & Technology, Pohang 790-600 Korea

*Beam Line Research Lab., Pohang Accelerator Laboratory, Pohang 790-784 Korea

**Dept. of Materials Engineering, Soonchunhyang University, Asan 336-745 Korea

*** UNIVAC Co. Ltd, Youngchun 771-890 Korea

(Received November 11, 1998)

요 약 - 방사광을 이용한 전반사 형광 분석법으로 Si 웨이퍼 표면 금속 불순물의 검출능을 향상시켰다. 측정장치는 특정 단색광 에너지만을 선택할 수 있는 모노크로메팅부, 측정챔버안으로 유입되는 방사광은 차폐하고 원하는 크기의 단색광을 선택하는 슬릿부 그리고 Si 웨이퍼 표면에서 전반사에 의해 발생하는 형광 X-선을 검출하는 측정부로 구성되어 있다. 단색광의 에너지는 10.90 KeV로 선택하였고, 최적의 전반사 조건을 확립하기 위하여 소멸시간과 Fe의 형광 X-선의 강도비의 관계를 이용하였다. 기존 X-선원을 이용하여 관찰한 결과와 비교하였을 경우에, 최대 약 50배까지 검출감도를 향상시킬 수 있었다. 특히, TRXFA(Total Reflection X-ray Fluorescence Analyzer)법으로는 검출하기 어려운 5×10^{10} atoms/cm² 수준의 금속오염은 방사광을 이용한 TRSFA(Total Reflection Synchrotron Fluorescence Analyzer)법으로는 충분히 검출할 수 있고, 5×10^9 atoms/cm²의 금속 불순물까지 검출할 수 있는 방법 및 장치를 개발하였다. 이를 이용하여 차세대 Si 웨이퍼의 초극미량 금속 불순물 분석에 이용할 수 있는 방법으로 기대된다.

Abstract - Total reflection X-ray fluorescence spectroscopy using synchrotron radiation source called as TRSFA was explored to achieve high sensitivities to impurity metals on Si wafer surface. It consists of monochromating part to select a specific wavelength, slit part to shield direct beam and to control monochromated beam, and main chamber to detect fluorescent X-ray counts of impurities on Si wafer. Monochromated X-ray of 10.90 KeV was selected and the optimum total reflection condition on silicon wafer was obtained through tuning the dead time and fluorescent X-ray count of Si and Fe. TRSFA system could increase the sensitivity as high as 50 times in comparison with TRXFA using normal X-ray source. But the trend was varied since the surface conditions of Si wafers and, therefore, the reflectivities were different. Furthermore, there seems to be a promising path to reaching a detection limit useful to the next generation metal impurities control, because Fe impurity below to the 5×10^9 atoms/cm² can be detectable through the developed TRSFA system.

1. 서 론

인위적으로 외부에서 전자나 양전자같은 하전입자를 빛의 속도와 거의 같은 수준으로 가속하여 일정한 원궤도를 따라 회전시켜 그 접선방향으로 광 스펙트럼의 가시광선에서부터 X-선 영역까지 발생하는 전자파를 방사광[1]이라 하며, 이것의 특징으로는 기존의 상용화된 X-선 발생장치에 비해서 반응성과 감도에 직접적으로 영향을 미치는 방사광의 다발(flux)이 적어도 1000배 이상 크다. 이를 실리콘 기판등의 표면 불순물 검출에 이용하고자 할 경우, 실제로 검출기로 들어가는 신호는 형광 X-선과 실리콘 웨이퍼 기판으로부터의 바탕산란으로 구성되어, 방사광의 다발이 증가함에 따라 양쪽 신호가 모두 증가하기 때문에 실질적인 검출능 향상은 기대할 수 없다. 그러나 전자의 궤도면에 평행한 방향으로 나오는 방사광은 선편광(linearly polarization)되어 있어, 측정하고자 하는 금속불순물에 대해서 검출기를 전자의 궤도면에 거의 평행한 입사 X-선에 수직으로 놓으면 바탕산란을 최소화할 수 있어 측정감도를 향상시킬 수 있다. 또한 광 스펙트럼 전 부분에 걸쳐 나오는 방사광은 임의로 원하는 에너지를 단색광 분광기로 선택할 수 있으며, 저장장으로부터 전자궤도의 접선방향으로 나오는 방사광을 조절된 집속장치로 집속하여 방사광 강도를 세게 할 수 있다. 이러한 장점을 이용하면 반도체 공정 및 수출에 큰 영향을 미치는 실리콘 웨이퍼 표면 금속불순물 오염분석에 대한 신뢰성 및 검출능 향상을 꾀할 수 있다 [2]. 실리콘 웨이퍼 표면에 전반사 임계각 이하로 특정 에너지를 가진 방사광을 입사하여 검출 감도의 향상을 꾀하는 방법으로 TRSFA(Total Reflection Synchrotron Fluorescence Analyzer) 분석법이 개발되고 있다[3-4]. 기존 X-선원을 이용하는 방법인 TRXFA(Total Reflection X-ray Fluorescence Analyzer) 측정법과 비교할 때, 방사광을 이용한 측정에서는 방사광의 다발에 비례하여 더 많은 금속불순물의 2차 형광이 발생할 것으로 예상되며, 그 결과로 측정할 수 있는 표면 불순물의 검출감도의 향상을 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

본 실험에서는 실리콘 웨이퍼 표면의 금속불순물 오염이 반도체 IC 제조시 최종적인 수출에 큰 영향을 끼치므로, 반도체 공정중에 가장 중요한 금속 불순물중의 하나인 Fe를 인위적으로 실리콘 웨이퍼 표면에 오염시킨 후, 기존 TRXFA와 방사광을 이용한 전반사 측정인 TRSFA로 측정하여 비교, 관찰하였다. 향후 1G DRAM

급 이상의 IC 제조를 위한 실리콘 웨이퍼 공정에서의 표면 금속불순물의 임계치인 5×10^9 atoms/cm² 이하로 유지 관리하기 위한 분석 방법 및 장치개발을 하였다.

2. 이론적 배경

일반적으로 X-선관에 어떤 임계전압 이상으로 바이어스를 걸면 연속 X-선 스펙트럼 이외에 어떤 특정 파장위치에 날카로운 강도의 피크가 나타난다. 이 피크는 타겟 금속에 따라 고유한 값을 가지며, W를 사용할 경우에는 Bragg 법칙을 만족하는 단색화 과정을 통해서 $W_{L\beta 1}$ 인 1.282 Å인 파장을 선택하여 사용하는 것이 보편화되어 있다. 방사광의 경우에는 전 에너지 스펙트럼에 걸쳐 강하게 분포되어 있으므로 모노크로메타를 이용하여, 임의로 에너지를 선택할 수 있다. 대표적인 값으로 Bragg 법칙을 만족하는 식에서 모노크로메타의 각도를 조절함으로써 약 1.12°로 임의로 각을 조절하면 모노크로메타의 격자간 간격이 29.7 Å일 경우에 얻어진 파장은 1.16 Å이 된다. 또한 사용된 전자파의 파장과 에너지와의 관계는 식 (1)과 같다.

$$E(\text{KeV}) = 12.398/\lambda(\text{Å}) \quad (1)$$

타겟물질이 W일 경우, 스펙트럼에서 9.67 KeV의 에너지로 고정되나, 방사광의 경우에는 임의로 조절할 수 있으며, 선택된 파장이 1.14 Å일 때, 에너지는 10.90 KeV가 된다.

형광 X-선 검출은 20 KeV 범위까지 검출 가능한 고체형 Si(Li) 검출기를 주로 사용한다. Si(Li) 검출기는 X-선에 노출되면 X-선에 의해서 유발된 미세한 전류펄스가 흐르게 되고, 이를 증폭하여 적절한 계량장치를 통해 X-선 광자량을 측정한다. 소멸시간(dead time)은 검출기에는 감지되지만, 최종적으로 X-선의 스펙트럼이 에너지 세기의 함수로 표시되는 EDX 스펙트럼에서 표시되지 않은 양을 시간개념으로 표현한 것으로, 이것은 주증폭기의 프로세싱 시간정수가 길기 때문에 발생하며, 적절한 방법으로 이를 40% 이하로 감소시켜야만 측정의 신뢰성을 확보할 수 있다.

전자각 사이의 에너지 차이에 의한 전자이동 및 광전 효과에 의해서 발생하는 X-선은 특성 X-선(characteristic X-ray)라고 한다. 천이위치의 전자각에 따라 K-각, L-각, 그리고 M-각으로 나누며, 이때의 천이 X-선을 각각 KX-선, LX-선, 그리고 MX-선으로 부른다. 각각의 원소에 대

하여 가장 강하게 나타나는 특성 X-선은 K-선으로, 이 X-선의 에너지는 원자번호의 함수로써 식 (2)로 표시된다.

$$E(\text{KeV}) = 0.0103(Z-1)^2 \quad (2)$$

원자번호가 증가하면, 특성 X-선의 에너지도 증가함을 알 수 있다. 예를 들어 Z=26인 Fe의 경우, 특성 X-선의 에너지는 6.437 KeV이며, 미지의 원소에 대해서도 식 (2)에 의해서 스펙트럼에 나타나는 에너지 피크 위치로부터 해당 원소를 찾아낼 수 있다.

위 조건들로부터 경면 처리된 실리콘 웨이퍼 표면에, 전반사 조건으로 X-선이 입사되는 경우, 표면 금속 불순물에 대한 정보를 정확히 알 수 있다. 입사된 X-선은 실리콘 웨이퍼 표면에 존재하는 금속 원소들에 따라 각각 에너지가 다른 형광 X-선을 발생시킨다. 전반사의 기본적인 현상은 입사된 X-선이 시편속으로 투과하지 못하고 표면에서 에너지를 유지한 채 반사되는 것으로, 전반사 조건에서는 배경잡음이 뚜렷하게 감소되고, X-선의 경우에는 매질의 밀도가 작은 쪽(공기, 진공)에서 밀도가 높은 쪽(실리콘 웨이퍼)으로 들어갈 때 일어난다 [5-6]. 이때 전반사를 일으킬 수 있는 최대 각이 임계각 (critical angle)이며 식 (3)으로 나타낼 수 있다. 실리콘에 대해서 기존 X-선관(W)은 0.187°로 고정되며, 방사광의 경우에는 모노크로메타의 각도를 1.12°로 조절할 때, 방사광에 대한 실리콘의 전반사 임계각은 0.164°가 된다.

$$\phi_{\text{crit}} = (5.4 \times 10^{10} \cdot Z \cdot \rho \cdot \lambda^2 / A)^{1/2} \quad (3)$$

여기서, ϕ_{crit} 는 입사 X-선과 반사되는 면 사이의 라디안으로 표시되는 각이며, Z는 반사물질의 원자수, A는 원

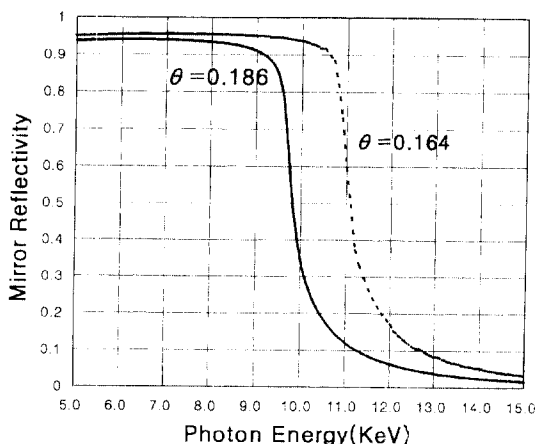


Fig. 1. 입사된 에너지와 반사율과의 관계.

자량, ρ 는 밀도, λ 는 반사된 X-선의 파장(cm)이다. Fig. 1은 입사각에 따른 반사율과 에너지에 대한 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 전반사는 반사율이 급격히 변하는 부분에서 일어나며, 측정을 위한 에너지 영역을 확대 하려면 입사각이 작아야 한다는 것을 알 수 있다. 이는 방사선을 이용하여 파장 영역을 가변 시킬 수는 있지만 전반사 조건을 확립하기 위해서는 입사각의 정밀 제어가 필요하다는 것을 알 수 있다. 한편, 반사율은 표면상태인 표면거칠기 및 매질에 따라 영향을 받으며, 이러한 영향으로 인하여 실리콘 웨이퍼 표면에 존재하는 금속 불순물의 형광 X-선 발생량이 표면상태등에 의해 달라질 수 있다.

3. 실험 장치 및 실험

3.1 실험 장치

방사광을 이용하여 실리콘 웨이퍼 표면 금속불순물의 검출감도를 향상시키기 위한 기본 실험장치는 크게 진공장치와 시스템 제어부로 구성 하였으며, 진공장치는 모노크로메팅부, 슬릿부, 측정부의 3부분으로 Fig. 2에 TRSFA 장치의 개략도를 나타내었다. 모노크로메팅부에는 결정방향이 <111>인 실리콘 단결정에 층간 간격이 29.7 Å으로 W와 B,C가 초격자구조를 한 모노크로메타가 설치되어 있으며, 빔라인에서 Be 창을 통해서 입사된 방사광은 모노크로메타에서 단색광으로 여과된다. 선택된 단색광과 투과된 방사광이 함께 슬릿 챔버안으로 입사되면, Mo로 제작된 상하, 좌우의 슬릿이 투과된 방사광은 차폐하고, 단색광은 원하는 크기로 조정하여 측정 챔버 안으로 입사된다. 측정챔버에는 8인치 실리콘 웨이퍼가 장착될 수 있는 시편 장착대를 설치하였고, 입사된 단색광에 의해 여기된 실리콘 웨이퍼 표면의 형

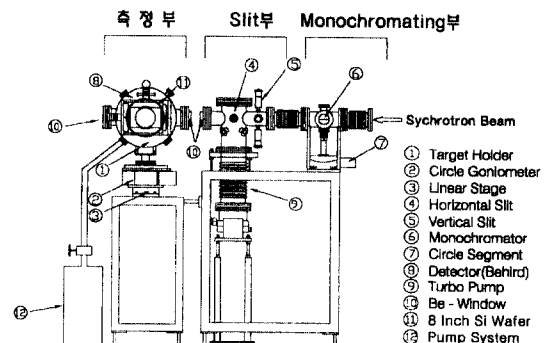


Fig. 2. TRSFA 장치 개략도.

광 X-선을 검출할 수 있도록 Si(Li) 검출기를 설치하였다. 검출기는 LN₂를 사용하여 냉각할 수 있는 시스템으로 구성하였다. 모노크로메타의 각도조절을 위해서 원형 각 분할기가 설치되어 있고, 슬릿에는 방사광 차폐 및 단색광의 빔 크기 조절을 위해서 선형 피드스루우, 그리고 측정챔버에는 전반사 조건을 확보하기 위한 one-circle 고니어메타와 X-moving 스테이지가 설치되어 있다. 각 부분은 컴퓨터로 제어되며, 특히 측정 챔버 안의 시편을 이동시키고, 회전시키는 부분은 정밀도가 각각 0.001 mm와 0.001°가 되도록 장치를 구성 하였다. 이것은 전반사 조건을 만족시키는 입사각이 0.2° 이하로 아주 정밀하게 제어되어야만 하기 때문이다. 방사광과 단색광의 경로를 파악하기 위해서, 슬릿 챔버안에 설치된 슬릿에는 MnS의 형광물질을 도포하여 CCD 카메라를 이용하여 단색광의 경로 및 빔 상태를 관찰할 수 있도록 하였으며, 측정 챔버는 챔버의 오염을 방지하기 위해서 독립적인 진공 시스템으로 구성하였다. 측정 챔버에도 단색광 빔 입사 전후 부분에 Be 창을 설치하여서 필요시 형광판으로 단색광의 경로 및 조건들을 관찰할 수 있도록 하였다. 단색광이 측정 챔버안으로 입사될 때, 측정을 위한 실리콘 웨이퍼는 빔의 편향면에 대해서 수직으로 장착되어 방사광의 특성인 수평방향으로의 편광현상을 최대한 이용하여 측정감도를 향상시킬 수 있도록 장치를 제작하였다.

3.2 실험

실험에서는 2.0 GeV의 에너지를 가진 방사광을 사용하므로 기존의 X-선보다 그 강도가 수 만배 이상 강하기 때문에 대기 중에서는 오존을 발생시켜 금속 부품들을 산화시키므로, TRSFA 장치의 구성 챔버들은 진공상태로 유지 하였으며, 모노크로메타 및 슬릿 챔버는 10⁻⁷ Torr 정도의 진공 상태에서 방사광을 입사시켰고, 측정 챔버는 직접광이 아닌 상대적으로 약한 단색광이 입사되므로 약 5×10⁻⁴Torr의 진공도에서 측정을 행하였다.

W 타겟으로부터 나오는 X-선을 이용하는 TRXFA에서는 산란피크의 에너지가 약 9.67 KeV로, Zn의 형광 X-선인 K_α(8.64 KeV) 및 K_β(9.57 KeV)와 겹치게 되어 정확한 Zn값을 얻기가 힘들게 된다. 그러므로 본 실험에서는 방사광의 모노크로메타 입사각을 1.12°로 하여 에너지를 약 11 KeV까지 확장함으로써, Zn 피크가 X선의 산란피크와 중첩되는 현상을 방지하였다. 방사광을 직접 받는 모노크로메타는 Cu 블록으로 지지하여 모노

크로메타에서 발생하는 열을 발산시켰고, 형광물질로도포된 슬릿을 선형 피드스루우로 상하로 움직이면서 단색광과 방사광을 관찰하여, 방사광을 차폐하였다. 측정을 위한 8인치 실리콘 웨이퍼의 전 부분에 단색광이 입사되도록 하기 위해서 좌우 슬릿으로는 좌우폭을 0.25 mm씩 열어서 단색광이 통과되게 하였다. 진행된 단색광은 최종적으로 웨이퍼 표면에 수평으로 입사되도록 설치하였다. 측정 챔버의 Be 창 앞에 설치된 CCD 카메라를 이용하여 단색광의 형태 및 일부 반사 및 전반사 현상의 단계를 Fig. 3과 같은 방법으로 관찰하였다. 웨이퍼에 단색광이 입사되었을 때, a)의 경우에는 웨이퍼 표면에 단색광이 거의 수평상태로 입사되었을 때의 그림이고, b)는 빔과 웨이퍼가 근접하여 스쳐 지나가는 순간이다. 단색광과 웨이퍼 사이에 각변화를 주었을 때는 c), d)와 같아지며 반사되어 단색광이 이동하는 현상을 나타낸다. e)는 단색광이 완전히 반사된 형태이다. 전반

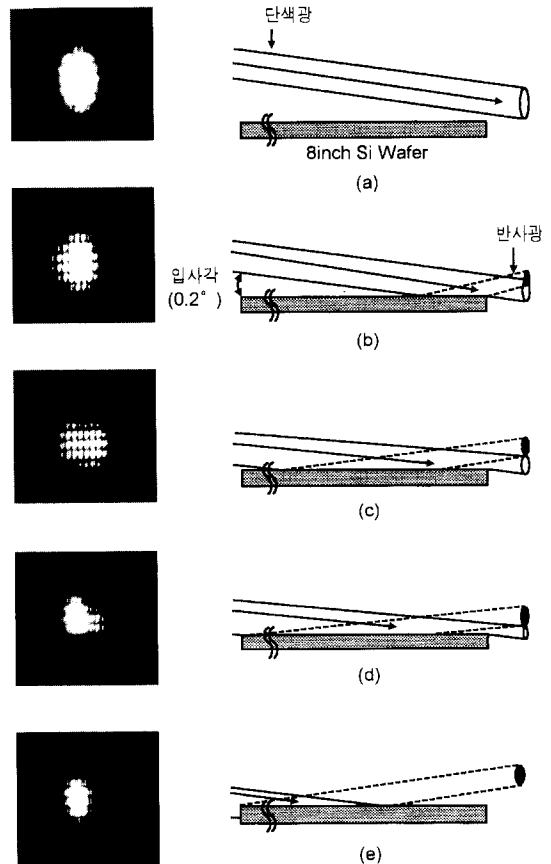


Fig. 3. CCD를 이용한 단색광의 반사 및 전반사 단계 관찰.

사에 의한 웨이퍼 표면 불순물 검출은 결국 b), c), d) 사이에서 일어남을 알 수 있다. 그러나 전반사 현상이 가장 잘 일어나는 경우는 측정챔버 안에 설치된 Si(Li) 검출기로 형광 X-선을 검출하여 상대적으로 감도가 가장 좋은 측정조건을 찾아야 하는 단점이 본 장치구성상 해결하여야 하는 문제이다.

본 실험에서 사용한 측정시료는 8인치 p-형 실리콘 웨이퍼이며, 표면 거칠기가 각 시편마다 거의 일정하며, 초기 금속오염은 거의 같은 수준이다. 시편은 Fe를 $5 \times 10^{10} \sim 5 \times 10^{12}$ atoms/cm²의 농도로 오염시킨 것으로, Fe는 반도체 공정중에 가장 쉽게 오염될 수 있는 오염원이다. 웨이퍼는 황산을 이용하여 표면 유기물을 제거하고, 염산(9%)과 과산화수소수의 혼합용액에 Fe₂O₃ 분말을 녹인 다음, 웨이퍼를 dipping하여, 시간에 따라 선택하여 Fe의 오염농도를 다르게 조절하였다. 오염시킨 웨이퍼는 HF, NH₄OH, HCl 등의 화학약품으로 세정공정을 거친 다음, TRXFA 측정법으로 Fe 오염을 측정한 후, 방사광을 이용한 TRSFA 측정법으로 측정, 비교하였다.

4. 결과 및 고찰

W를 타겟으로하는 TRXFA 측정장비는 상업화가 되어 있어, 시스템 운영 및 측정 메카니즘이 확립되어 있어, 웨이퍼를 장입과 동시에 자동으로 측정조건을 확보한다. 그러나 본 연구의 방사광을 이용한 TRSFA 측정 장비에는 실리콘 웨이퍼에 대한 전반사 조건을 확보하여 최적의 측정조건을 찾아야 하므로 이를 확보하기 위해서 단색광과 웨이퍼 간의 입사각도를 변화시키면서 검출기의 소멸시간과 Fe 및 Si의 최대 형광 X-선의 검출 피크치의 변화로부터 전반사조건을 확보하였다.

웨이퍼 표면의 최대 전반사 기준을 설정하기 위하여 Fig. 4에 에너지 스펙트럼에서 Fe(6.40 KeV : ●), Si(1.74 KeV : ◆)의 최대 카운터와 소멸시간의 변화를 나타내었다. X-선의 입사각을 증가시키에 따라서 그림에서와 같이 Si의 경우 소멸 시간이 증가하고 X-선의 강도가 일정한 값을 가지다가 10% 이후에 점차 증가하여 25~30%사이에서 다시 일정한 값을 가진후 증가함을 알 수 있다. Fe의 경우에는 X-선의 입사각을 증가시키에 따라서 소멸시간이 점차 증가하고 20% 이후에는 감소한후 45% 이후에는 거의 일정한 값을 유지하고 있다. 그러므로 소멸시간이 5% 이하인 경우에는 입사 X-선 단색광과 웨이퍼가 거의 수평으로 놓이게 되어 충분히 표면의

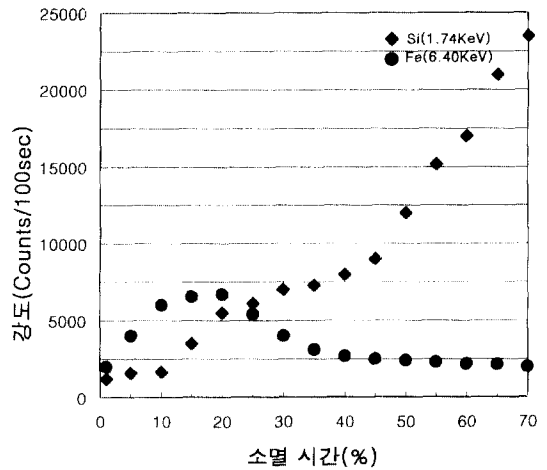


Fig. 4. 전반사 기준설정을 위한 소멸시간과 형광 X-선의 관계.

금속불순물에 의한 형광 X-선을 여기시키지 못한 영역으로 생각되며, 소멸시간이 30% 이상에서는 입사 X-선 단색광과 웨이퍼 간의 입사각이 너무 커서 상대적으로 Si에 의한 강도가 세어진 영역으로 생각되어 표면에서의 불순물 검출에는 문제가 있다고 생각된다. 그림에서 가장 좋은 영역은 소멸시간이 10~25% 사이가 되는 X-선 단색광의 입사각에서 전반사가 일어나며 이때 금속불순물의 측정감도가 가장 좋은 것으로 생각된다. 반복되는 웨이퍼 장입시에도 입사되는 단색광과 웨이퍼와의 각도를 이 영역에서 컴퓨터에 입력하고 미세 회전각을 조정함으로써, 시편을 교환할 경우에도 계속적으로 전반사 조건을 유지하여 금속 불순물에 대해서 최적의 측정감도를 유지할 수 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 방사광의 측정감도를 비교, 관찰할 목적으로 실리콘 웨이퍼 표면에 강제오염으로 Fe를 3×10^{13} atoms/cm² 수준으로 오염시킨 다음, 측정시간을 100초로 하여 TRXFA와 TRSFA 측정한 스펙트럼이다. TRXFA는 소멸시간을 4.9%로하여 측정하였으며 Cl, Mn, 그리고 Fe의 불순물 피크가 관찰되었다. Fe의 최대 측정 카운트수는 6.4 KeV에서 763이다. 한편 TRSFA는 소멸시간을 23%로 선택하여 측정하였으며 Fe의 경우 최대 측정 카운트수는 7120이다. 다른 오염원에 대해서도 TRXFA에 나타난 피크들보다 TRSFA로 측정할 경우 측정 카운트수가 대략 10~20배 이상 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 TRSFA의 경우 Si 피크치에 가까운 2.62 KeV의 Cl의 피크가 거의 검출되지 않는다. 이에 대해서는 향후 보다 많은 실험과 분석을 통해서 정확한

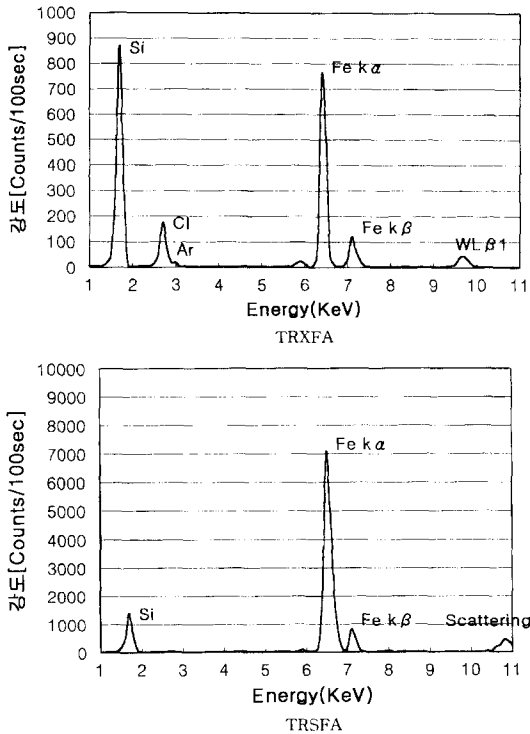


Fig. 5. TRSFA 및 TRXFA 측정감도 비교(표면 Fe 오염 농도: 3×10^{11} atoms/cm²).

원인을 검토 하여야 할 것으로 생각된다.

Table 1은 TRXFA와 방사광을 이용한 TRSFA의 측정 결과에 대한 최대 측정강도에 대한 비교표이다. 두 측정 방법 모두 측정시간은 100초로 하였고, 그룹 A는 표면이 HF로 처리된 소수성 시편을 그대로 이용한 것이고, 그룹 B는 HF 처리후, NH₄OH로 실리콘 웨이퍼 표면의 미세 거칠기를 제어한 시편이다. 그룹 C는 HF처리후 HCl로 처리한 시편이다. Fe(6.40 KeV)를 기준으로 최대 피크치를 비교한 것으로 TRXFA로 먼저 표면 금속불순물을 측정하여 정량화된 Fe 농도를 구하고 난 다음, 방사광을 이용하여 TRSFA로 측정을 한 것이다. 측정강도에서는 HF후 NH₄OH로 처리한 것이 가장 측정감도가

Table 1. TRXFA 및 TRSFA의 Fe에 대한 최대 강도비교

Fe 농도 ($\times 10^{10}$ atoms/cm ²)	TRSFA(TRXFA) 최대 카운트수		
	그룹 A	그룹 B	그룹 C
5.0($\pm 10\%$)	19 (2)	45 (3)	9 (2)
50($\pm 10\%$)	185 (16)	252 (11)	138 (19)
500($\pm 10\%$)	1421(120)	1856(150)	972(147)

Table 2. 비교 시편의 표면 미세거칠기

Fe 농도 ($\times 10^{10}$ atoms/cm ²)	AFM 측정결과(Ra:Å)		
	그룹 A	그룹 B	그룹 C
5.0($\pm 10\%$)	3.11	1.82	1.15
50($\pm 10\%$)	4.89	1.91	7.60
500($\pm 10\%$)	5.83	2.27	5.98

향상되는 것을 알 수 있다. 이는 Table 2의 AFM (Atomic Force Microscope)에 의한 표면 미세 거칠기 측정 결과로부터 표면 미세 거칠기와의 관계가 있음을 알 수 있다. 표면 미세 거칠기는 NH₄OH 처리시 1.82-2.27 Å이며, HF 처리시 3.11-5.83 Å, 그리고 HCl 처리시 1.15-7.60 Å으로 NH₄OH의 처리시 표면 미세 거칠기가 가장 작아서, 상대적인 난반사보다는 표면 전반사가 더 강하게 일어난 것으로 예상할 수 있다. 그러므로 표면 미세 거칠기가 측정감도에 영향을 미치며 미세 거칠기가 작을수록 측정감도가 뛰어나음을 알 수 있다.

Fig. 6은 반도체 DRAM 공정에 사용되는 수준의 Fe 금속 불순물의 농도가 5×10^{10} atoms/cm² 이하인 실리콘 웨이퍼를 TRXFA와 TRSFA로 분석한 것으로, 측정시간을 각각 a) 100초 및 b) 1000초로 하여 측정한 스펙트럼이다. 100초인 a)의 TRXFA 측정에서 스펙트럼에 나타나는 형광 X-선은 Si와 산란피크 외에는 검출되는 피크가 없어서 금속오염 수준을 관찰할 수 없으나, TRSFA 측정에서는 S, Cl, Ti, Mn, Fe, Cu, 그리고 Zn이 스펙트럼에서 관찰됨을 알 수 있다. 이때 소멸 시간은 22%이다. 그러나 측정시간을 1000초로 한 경우인 b)에서는 TRXFA 측정 결과에서도 S와 Fe가 관찰되는 것을 알 수 있다. 이때 Fe의 최대 카운트수는 12이다. TRSFA 측정의 경우에는 Fe의 최대 카운트수가 약 150 이상으로 관찰되었으며, TRXFA에서는 관찰되지 않은 Ti, Mn, Cu 그리고 Zn이 스펙트럼에서 검출 됨을 알 수 있다. 그러므로 TRSFA 측정법을 이용하면 금속 불순물에 대한 감도면에서 약 10배 이상의 측정능 향상을 기대할 수 있어서, 5.0×10^9 atoms/cm² 수준의 금속불순물도 충분히 검출할 수 있을 것으로 예상되므로, 앞으로 차세대 G DRAM급 소자제작을 위해서 사용되어질 12인치급 실리콘 웨이퍼의 표면 금속불순물 검출방법을 위한 중요한 방법이 될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 TRSFA측정법은 입사되는 에너지를 임의로 바꿀 수 있으므로, TRXFA에서는 산란피크의 영향 때문에 측정 신뢰성이 떨어지는 Zn에 대한 정확한 측정을 수행할 수 있다.

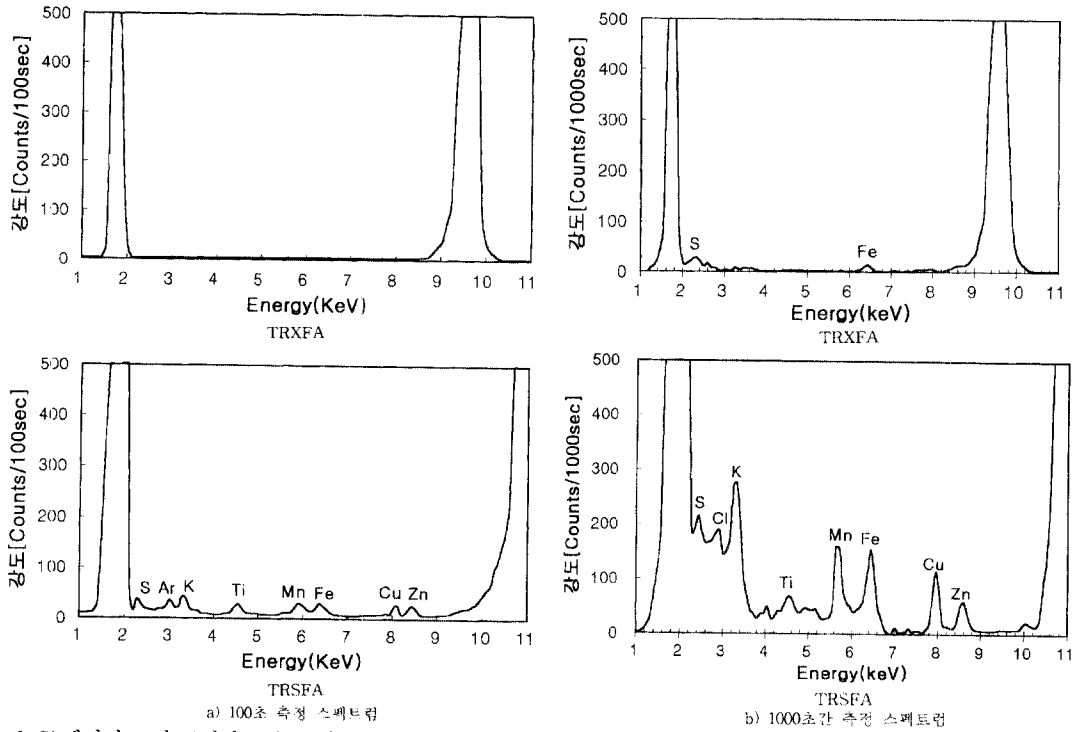


Fig. 6. Si 웨이퍼 표면 극미량 금속 오염 측정 결과.

5. 결 론

상용화된 X-선원을 이용하는 TRXFA 측정법에 비해서 실리콘 웨이퍼 표면의 극미소 금속불순물에 대한 검출감도를 높일 수 있는 방사광을 이용한 TRSFA 측정시스템을 제작하였다. 측정시스템은 방사광을 원하는 단색광 에너지로 선택하는 모노크로메팅부, 방사광 및 단색광 차폐 관련 슬릿부, 그리고 실리콘 웨이퍼가 장착되고 단색광과 실리콘 웨이퍼 간의 전반사로 형광 X-선이 검출되는 측정부로 구성하였다. 단색광은 에너지를 10.90KeV로 선택하였고, 실리콘 및 Fe의 검출강도와 소멸시간을 이용하여 단색광과 실리콘 웨이퍼와의 최적 전반사 조건을 확립하였다.

TRSFA법을 이용하여 TRXFA에 비해서 최대 50배까지 측정감도를 향상시킬 수 있었으며, 미세 표면 거칠기가 작은 웨이퍼 표면에서 측정감도가 향상됨을 알 수 있었다. 이는 표면상태에 따른 난반사 및 전반사 조건의 차이에 기인한 현상으로 생각된다. TRSFA측정법을 이

용하여 Fe 오염농도가 5×10^{10} atoms/cm² 이하인 실리콘 웨이퍼에서는 TRXFA로 관찰되지 않던 S, Ti, Mn, Cu, Zn 등의 금속오염원까지 확연히 관찰할 수 있었으며, G DRAM급 IC 제작을 위한 표면 금속불순물 수준인 5×10^9 atoms/cm²의 금속 불순물도 충분히 검출할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. G. Margaritondo, *Introduction to Synchrotron Radiation*, (OXFORD PRESS).
2. M. A. Lavoie, E. D. Adams, and G. L. Miles, *J. Vac. Sci. Technol.* **A14**, 1924(1996).
3. P. Pianetta, N. Takaura, S. Brennan, W. Tompkins, S. S. Laderman, A. Fischer-Colbrie, A. Shimazaki, K. Miyazaki, M. Madden, D. C. Wherry, and J. B. Kortright, *Rev. Sci. Instrum.* **66**, (1995).
4. B. L. Henke, *et al.*, *X-ray interactions(Atomic Data & Nuclear Data Tables)* (1993).