

광음향 현미경법을 이용한 반도체 표면의 3차원적 구조 분석

이응주 · 최옥림 · 임종태 · 김지웅 · 최종길*

연세대학교 이과대학 화학과

(2004. 7. 13 접수)

3-D Analysis of Semiconductor Surface by Using Photoacoustic Microscopy

Eung-Joo Lee, Ok-Lim Choi, Jong-Tae Lim, Ji-Woong Kim, and Joong-Gill Choi*

Department of chemistry, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

(Received July 13, 2004)

요 약. 반도체 제작 과정에서 증착이나 식각, 회로의 검사 등에서 생겨날 수 있는 미세한 흠집이나 불완전성을 검사하기 위해 광음향 현미경법을 응용하였다. 반도체 표면에서 발생하는 광음향 신호를 측정하여 흠집의 형태와 깊이를 결정함으로써 3차원 영상을 분석하여 그 구조를 밝혔다. 또한 광음향 현미경법을 이용하여 진성 GaAs 반도체의 운반자 운송성질(비방사 벌크재결합 및 비방사 표면재결합)과 열확산도 및 시료 깊이에 따른 3차원 영상을 분석하여 진성 GaAs 반도체 열확산도 측정 시, 빛이 조사되는 표면조건에 따라 광음향 신호의 주파수 의존성이 달라짐을 관측하였다. 실험결과 표면상태가 기친 면에서 매끄러운 면으로 갈수록 높은 주파수 의존성을 나타내었다. Si 웨이퍼 위에 임의로 제작되어진 흠집을 만들고 이를 광음향 현미경법으로 측정할 결과 광음향 신호는 변조되는 주파수와 웨이퍼의 열적 특성에 따라 달라지며 이를 통하여 흠집의 형태와 위치 및 크기를 확인하였다. 광음향 현미경은 반도체 소자나 세라믹 물질에 대하여 비파괴 검사와 비파괴 평가에 관한 연구가 가능하며 반도체 공정 과정에서 생겨날 수 있는 시료의 깨짐이나 결함 등을 검사하는데 응용 가능한 분석법임이 증명되었다.

주제어: 광음향현미경법, 반도체 표면, 3차원적 구조분석

ABSTRACT. In this experiment, a three dimensional structure analysis was carried out to examine the surface defects of semiconductor made artificially on known scale. It was investigated the three dimensional imaging according to the sample depth and the thermal diffusivity as well as the carrier transport properties. The thermal diffusivity measurement of the intrinsic GaAs semiconductor was also analyzed by the difference of frequency-dependence photoacoustic signals from the sample surface of different conditions. Thermal properties such as thermal diffusion length or thermal diffusivity of the Si wafer with and without defects on the surface were obtained by interpreting the frequency dependence of the PA signals. As a result, the photoacoustic signal is found to have the dependency on the shape and depth of the defects so that their structure of the defects can be analyzed. This method demonstrates the possibility of the application to the detection of the defects, cracks, and shortage of circuits on surface or sub-surface of the semiconductors and ceramic materials as a nondestructive testing(NDT) and a nondestructive evaluation(NDE) technique.

Keywords: Photoacoustic Microscopy, Semiconductor Surface, 3-D Structural Analysis

서 론

광음향 현미경법(photoacoustic microscopy)은 SEM이나 TEM과는 달리 전처리 등이 필요 없는 비파괴적 검사가 가능하다는 장점으로 그동안 많은 관심을 이끌어 왔다. Von Gutfield와 Melcher¹는 시료 밑에 구멍을 가지고 있는 알루미늄 시료를 검출하기 위해 펄스레이저로 초음파에 해당하는 주파수에서 처음으로 광음향 현미경 실험을 수행하였다. 그 다음 해 Wong 등²은 시료에 대해 낮은 가청 주파수 영역대와 고주파수 영역대에서 기체-마이크로폰 광음향 시스템을 이용하였고 Wickramasinghe 등³도 역시 이와 같은 실험을 수행하였다. 그 후 광음향 영상을 얻는 기술은 광학적으로 불투명한 물질(opaques)과 소자들에 대한 비파괴적 검사 방법으로 많은 관심을 끌며 실험적, 이론적인 발전을 거듭하게 되었다. McFarlane 등⁴, Rosenwaig 등⁵, Favro 등⁶, Busse 등⁷, McClelland 등⁸은 거의 동시에 집적회로(integrated circuits)뿐만 아니라 반도체에서 이온주입으로 인해 생긴 비균질(inhomogeneous) 구조를 검출하는데 성공하였다.

광음향 효과는 시료의 광학적 성질과 열적 성질뿐만 아니라 기하학적인 구조, 그리고 때로는 탄성 성질까지 의존하는 경향을 보여줌으로써 광음향 현미경법은 같은 물질에 대하여도 서로 다른 관점으로 연구되어져 왔다. 광음향 현미경법의 주된 사용법 중의 하나는 반도체 산업으로 실리콘 웨이퍼와 다양한 단계에서의 금속화 산화층에서의 기하학적인 성질과 그 물질의 특성에 대한 정보를 제공한다. 이 방법의 특성으로는 첫째, 미시적 규모의 시각적 정보를 준다는 것이다. 신호는 빛 단면적 크기를 조절하여 집속(focusing)된 빛의 양에 직접적으로 비례하므로 물질과 기하학적 구조에 따라 그 지점에서의 흡수, 반사적인 특성이 변하게 되고 따라서 광음향 신호가 변하게 되는 것이다. 그러므로 주어진 시료표면을 주사하게 되면 광학현미경(optical microscope)과 유사한 영상을 얻게 된다. 둘째로, 광음향 현미경법은 광흡수 자료를 제공한다. 일시적으로 집속된 빛의 파장을 변화시키면 그 지점에서 그 물질의 광흡수 성질을 분석할 수 있게 된다. 셋째로, 광음향 현미경법은 미시적인 부분에서의 국소적인 열파(local thermal)와 탄성 성질의 정보를 보여준다. 즉, 층 구조나 산화층에서의 결함(faults)이나 금속화에서의 결함 및 표면 위, 아래

에서의 결함이 존재한다면 국소적인 열파 또는 탄성 성질의 변화에 따라 결함들을 감지할 수 있다. 넷째로 광음향 현미경법에서는 비방사 과정에 대한 정보를 준다. 광에너지의 비방사 과정으로부터 국소화된 열(localized heat)이 생성되기 때문에 광음향 신호가 발생된다. 예를 들어, 형광물질이 존재하면 광음향 신호가 감소하기 때문에 각 미시적인 지점에서의 형광종(fluorescent species), 즉 어떤 도펀트나 불순물이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 또한 그 종의 흡수밴드를 통해 일시적인 빛의 파장을 조절하여 형광물질의 확인이 가능하게 된다. 아울러 반도체 소자를 위한 물질의 경우, 광기전(photovoltaic) 과정이 존재할 때는 쌍극자 소자 제조(bipolar device manufacture) 안에 어떤 결함(electrical short 또는 leaks)이 존재하면 광음향 분광학 신호가 변화하게 되고 따라서 비파괴적인 방법에 의해 확인할 수 있게 된다. 또한 광화학 반응 역시 광기전 과정에서처럼 똑같은 방법으로 조사할 수 있다. 마지막으로 광음향 현미경법은 깊이영상분석(depth-profiling analysis)을 가능하게 한다. 먼저 일시적인 빛이 파장변화에 의해 광투과 깊이가 결정되면 광음향 신호가 생성되어 그 주파수에 따라 변화하게 된다. 다시 말하면 변조된 주파수를 변화시키면 열파의 투과깊이가 변화하게 되는 것이다. 이는 열확산 길이가 변조주파수에 의존함을 보여주게 되므로 여러 주파수에서의 깊이영상분석 실험이 가능하게 된다. 깊이영상분석 능력의 중요한 응용은 미시적인 국소영역에서 박막(thin-film)의 두께측정이다. 이러한 측정은 변조주파수의 함수로써 광음향 신호의 크기와 위상(phase)의 분석에 의해 가능하며 레이저 빛의 펄스나 입자빔의 펄스에 의해 생성되는 광음향 신호의 시간의존성에 따라 분석을 수행할 수 있게 된다.

특히 광음향 현미경법은 반도체 산업에서 공정제어(process-control) 장치 및 분석기구로서 상당한 가능성을 보여주고 있다.⁹ 광음향 현미경법은 소자제조의 초기 단계에서 집적회로(integrated circuits: IC) 내의 전기적 쇼트나 결함 존재여부를 확인하기 위해 반도체 제조 라인에 적용할 수 있다. 따라서 광음향 현미경법은 표면 아래의 구조와 그 패턴을 검열하고 가시화하기 위해서 온라인(on-line)으로 이용할 수 있고 또한 국소화된(localized) 박막 두께를 측정하는데 이용할 수 있다. 이와 같이 다양한 방법에 의해 광음향 현미경법은 대규모 집적회로(large-scale IC)와 다른 전

자소자를 제조하는데 있어서 상당한 비용 삭감을 위하여 응용될 수 있다.

본 실험에서는 반도체 시료의 기하학적 구조를 최소부의 광음향 셀을 이용하여 반도체의 열확산도를 측정하였으며, 반도체 제작 과정에서 증착이나 식각, 회로의 검사 등에서 생길 수 있는 미세한 흠집이나 불완전성을 검사하기 위해 광음향 현미경을 응용하였다. 또한 반도체 표면의 광음향 신호를 얻음으로써, 만들어진 흠집의 형태와 깊이를 측정하여 3차원적 구조를 밝히고자 하였다.

실 험

반도체 시료인 GaAs는 Japan Sumitomo사에서 Horizontal Bridgeman 방법으로 제조한 제품으로 도핑되지 않은 JS11B 9115를 사용하였다. 직접밴드갭(direct band gap)을 갖는 전성 GaAs(밴드갭 에너지: 1.43 eV)의 크기는 X×Y 축으로 2×2 mm, 주사 범위는 600×800 μm, 두께는 350 μm이고 반도체 시료위의 절반에 두께가 50 μm인 알루미늄 테이프를 부착시켰다. 따라서 일부분의 두께는 350 μm이고 알루미늄이 부착되어 있는 곳의 시료 두께는 총 400 μm가 된다. GaAs의 각각 거친 면과 거울 면 위에 대해 빛을 고정시켜 조사하고 주파수를 변화시켜 가면서 운반자 운송성질과 열확산도를 측정하였다. 또한 변조주파수를 변화시켜 X×Y축 방향으로 주사한 다음 거친 면에서의 열확산 계수를 이용하여 시료 깊이에 따른 3차원 영상을 관찰하였다.

또한 다른 시료로써 크기가 대략 6×6×0.5 mm인 순수 Si 웨이퍼(밴드갭 에너지: 1.11 eV)에 다이아몬드 칼을 이용하여 절단한 후 시료 중앙에 한 일(一)자 형태의 흠집을 내어 사용하였다. 순수 흠집이 없는 시료 1개, 매끈한 면에 흠집이 생긴 시료 1개, 거친 면에 흠집이 생긴 시료 1개, 총 3개의 시료를 준비하여 먼저 시료의 열적 특성을 광음향 분광법으로 측정한 후, 광음향 현미경법으로 표면 흠집의 광음향 신호에 대한 의존성과 흠집 형태에 따른 광음향 신호를 3차원적으로 구조분석 하였다. 사용된 광음향 셀은 OPC(open photoacoustic cell)로써 마이크로폰의 입구는 지름이 2 mm이고 앞면에서 금속막(펄립막)까지의 길이는 1 mm 정도이며, 금속막의 크기는 지름이 약 7 mm가 된다. 시료는 지름이 9.5 mm인 electret microphone

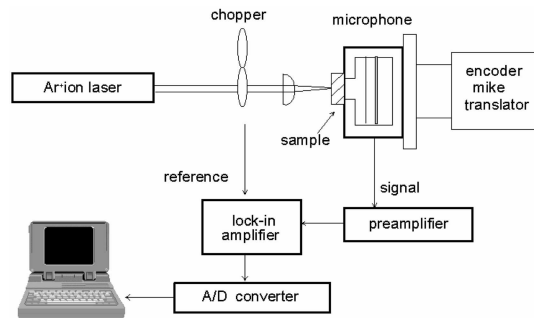


Fig. 1. Experimental arrangements used in this measurement of surface defect on semiconductors.

(Radio Shack Inc. Model 270-092B)의 앞면에 직접 진공 그리스로 부착하여 외부의 다른 음향효과를 막을 수 있게 하여 잡음을 줄이도록 하였다. 또한 이 광음향 셀은 X-Y 평면으로 움직일 수 있는 Encoder Mike Controller(ORIEL, Model 18011)에 부착시킴으로써 표면진체에 대한 정보를 얻을 수 있도록 제작하였다.

Fig. 1은 전체적인 실험 장치의 개략도를 보여주고 있다. 광원으로는 시료들의 밴드갭 에너지보다 큰 에너지를 갖는 아르곤 이온 레이저(Ar⁺ ion laser, Coherent Innova 305 Series)의 488 nm 파장을 이용하였고 레이저 광을 변조하기 위해서 빛살변조기(chopper, EG & G, PAR Model 650)를 사용하였다. 이 때 높은 출력의 레이저가 반도체 시료에 조사될 때 일어날 수 있는 여러 가지 열적 영향을 최소화하기 위하여 레이저 출력을 50 mW 에서 100 mW 범위로 조절하였다. 또한 레이저 빔 크기를 최대한 작게 하여 시료의 미세한 부분까지 레이저 빔을 조사시킬 수 있도록 마이크로폰 앞에 초점거리 40 mm의 plano-convex 렌즈를 설치하고 빛을 모아 시료에 조사시켰다. 3차원 영상을 보기 위해서 Encoder Mike Controller에 부착시킨 시료를 X-Y 방향으로 움직여 이미지를 관찰하였다. 이 때 3차원적 흡수 영상에 대한 해상도는 controller의 주사속도에 의존하며 대부분의 실험에서 주사속도는 X 축으로는 30 μm/s, Y 축으로는 1 μm/s로 유지시켰다. 마이크로폰에 검출된 신호는 preamplifier(EG & G, PAR Model 5184)로 증폭시켜 lock-in amplifier(EG & G, PAR Model 5210)로 검출하였다. 검출된 신호 크기와 위상은 AD/DA converter(PC-Lab Card, PCI-7115)를 연결하여 자료를 분석하였다. 시료 표면은 흠집이 있는 거친 면과 흠집이 없는 거울 면을 마이크로폰에

각각 부착시켜서 실험하였고, 이때 주파수 의존성과 열확산도를 측정하기 위한 변조주파수 범위는 70~1800 Hz이었다. 또한 변조 주파수를 조절하여 열확산 길이를 변화시키며 X-Y축 방향으로 주사한 다음, 시료 깊이에 따른 흡질의 3차원 영상을 관찰하였다.

결과 및 고찰

시료의 열확산도를 알게 되면 그 확산된 깊이에서의 3차원 영상을 확인할 수 있다. OPC에서의 R-G이론¹⁰에 따라 열적으로 두꺼운 시료에 대한 광음향 셀에서의 압력변화는(인용문헌 11, 12참조), P_0 , T_0 및 I_0 를 각각 주위압력, 주위온도, 입사광의 세기라고 할 때 다음과 같이 주어진다.

$$\delta p = \frac{2\epsilon I_0 P_0}{T_0 l_g \sigma_g k_s \sigma_s} \times \left[\left\{ \frac{\epsilon-1}{\epsilon} \right\} e^{l_g \sigma_g} \frac{F \sigma_s}{D \gamma \tau} \left\{ \frac{1}{\sigma_s^2 - \gamma^2} + \frac{\nu \tau}{\sigma_s} \right\} \right] \quad (1)$$

여기서 l_g 은 시료의 두께, k_s 는 열전도도, D 는 운반자 확산계수, γ 는 광기의 비열비, τ 는 전도띠와 가전도띠의 재결합 시간, ν 는 표면 재결합 속도이다. 또한 a 가 열확산 계수를 나타낼 때 $\sigma=(1+j)a$ 가 되며 $\epsilon=F_0/h\nu$ 이고 각 변수에서 아래첨자인 g 와 s 는 각각 기체와 시료를 의미하며 $F=1/(1+r_0)(1+r)e^{-jk}-1/(1-r)(1-r_0)e^{-jk}$ 이다. 식 (1)에서 대괄호의 첫 번째 항은 낮은 변조주파수에 대하여 지수 함수적으로 변하는 항으로, 순간적인 열원에 의한 열확산 기여에 의한 것이다. 두 번째 항은 높은 변조 주파수 영역에서의 비방사 벌크재결합에 의한 효과이며 이때 광음향 신호는 $f^{-1/2}$ 에 따라 변한다. 낮은 변조주파수의 경우 광음향 신호는 $s \propto 1/f \cdot \exp(-a \cdot f^{1/2})$ 의 의존성을 가지며 $a=l_s(\pi/\alpha_s)^{1/2}$ 로 나타낼 수 있다. 이 식을 $\ln(s^*f) - a \cdot f^{1/2}$ 로 변형시키면 열확산계수인 기울기 $-a$ 를 구할 수 있고 이 a 값으로부터 열확산도를 얻을 수 있다.^{11,12} 이에 따라 열적으로 두꺼운 반도체 시료에 대하여 광음향 신호변화를 얻었고, GaAs 시료의 $\ln(s^*f)$ 의 $f^{1/2}$ 에 대한 의존성을 Fig. 2에 나타내었다. 위에서 언급한 바와 같이 낮은 변조주파수 영역에서는 순간적인 열원에 의한 열확산 효과가 나타나게 되므로 Fig. 2의 70~200 Hz 변조주파수 영역에서 기울기를 구함으로써 열확산도를 결정하였다. 먼저 거친 면에서의 기울기 $-a$ 인 열확산계

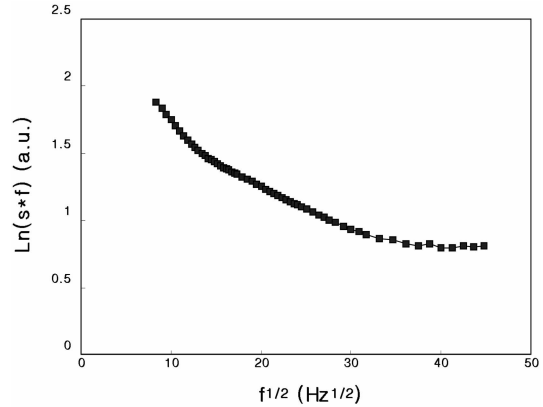


Fig. 2. $\ln(s^*f)$ for intrinsic GaAs (on the rough side) as a function of SQRT(frequency).

수는 -0.079 로써 진성 GaAs 열확산도의 참고문헌 값이 $0.44 \text{ cm}^2/\text{s}$ 인데¹³ 비해 실험에서는 $0.62 \text{ cm}^2/\text{s}$ 로 측정되었다. 또한 거친 면에 부착시킨 알루미늄 위에서 열확산계수는 0.174 이었고 이때 열확산도는 $0.17 \text{ cm}^2/\text{s}$ 로 측정되었다. 알루미늄의 열확산도에 대한 참고문헌 값은 $0.98 \text{ cm}^2/\text{s}$ 에¹⁴ 비해 실험값은 $0.17 \text{ cm}^2/\text{s}$ 로 아주 작은 값이 측정되었다. 이는 열파(thermal waves)가 알루미늄에서 GaAs로 전달될 때 그 사이에 부착되어진 접착제에 의해서 균일한 열파가 진행되지 못하고 상쇄되어지기 때문이다. 광음향신호는 열확산도(α)와 주파수(f)가 주어지면 시료면 아래의 열확산길이(thermal diffusion length, $1/a$), $\mu=(\alpha/\pi f)^{1/2}$ 을 알 수 있는데 시료 내에 결함(faults)이 존재하면 시료 전체의 열전도도가 떨어지게 되고 결과적으로 열확산길이까지 감소하게 된다.¹⁵ 이와 같은 방법으로 Si 시료에 대한 열확산도를 구한 결과 실험값은 $0.97 \text{ cm}^2/\text{s}$ 로 문헌값인 $0.96 \text{ cm}^2/\text{s}$ 와 매우 유사한 값을 얻을 수 있었다.

Fig. 2를 바탕으로 GaAs의 구해진 열확산도 값으로 각 주파수에 따른 3차원 영상을 측정하였다. Fig. 3을 보면 A면은 거친 면에서의 GaAs이고 B면은 거친 면 위에 알루미늄 테이프를 부착시킨 면이며 시료는 X축의 A면에서 B면으로 주사하여 측정하였다. 사용한 진성 GaAs의 열확산도 측정값은 $0.62 \text{ cm}^2/\text{s}$ 로 주파수 70 Hz에서의 열확산길이는 $532 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. B면에서의 열확산도는 $0.17 \text{ cm}^2/\text{s}$ 로 주파수 70 Hz에서의 열확산길이는 $257 \mu\text{m}$ 을 나타낸다. 이는 알루미늄이 높은 열확산도를 가짐에도 불구하고 이처럼 낮은 열확

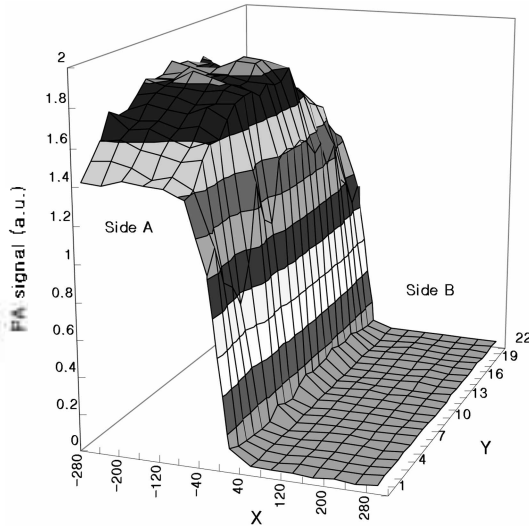


Fig. 3. Image variation of PA signal amplitude for a GaAs sample at modulation frequency of 70 Hz (unit of X and Y axis is μm).

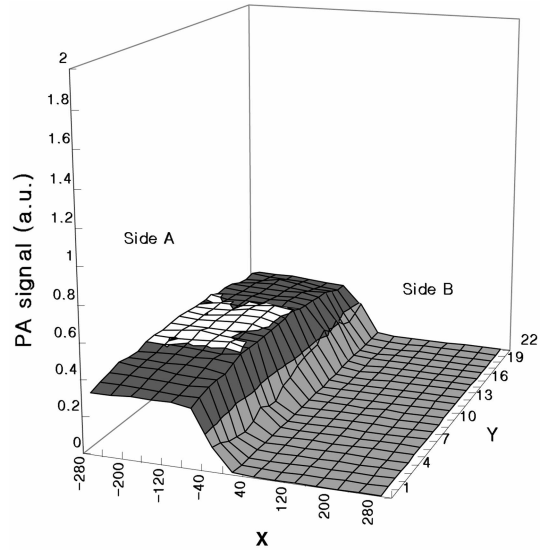


Fig. 4. Image variation of PA signal amplitude for a GaAs sample at modulation frequency of 200 Hz (unit of X and Y axis is μm).

산도가 측정된 이유는 앞에서 기술한 대로 알루미늄과 시료 사이에 있는 집착체와 그 사이에서 생성되는 수많은 기공들에 의해 열파가 전달되지 못하고 서로 상쇄되기 때문이다. 따라서 주사방향이 A면에서 B면으로 가면 그 경계면을 지날 때 광음향신호 값이 큰 쪽으로 떨어지게 되는 것이다. 또한 Fig. 4는 변조주파수가 200 Hz일 때 A면의 열확산길이 315 μm 와 B면에서 152 μm 를 보여주는데 A면은 시료 두께 350 μm 보다 열확산길이가 더 짧은 경우의 신호를 보여주고 있다. 이는 시료가 열적으로 두꺼운 경우로 설명되어진다.

이와 같이 변조 주파수에 따라 열확산 길이가 달라짐으로 시료의 깊이에 따른 정보를 얻을 수 있다. 즉 높은 주파수에서는 시료 표면에 대한 정보를 얻을 수 있으며 낮은 주파수에서는 시료의 더 깊은 층에 대한 정보를 얻을 수 있다. 먼저 흠집이 없는 순수 실리콘을 열확산 길이가 시료의 두께(500 μm)보다 길 때(70 Hz, 664 μm)와 짧을 때(200 Hz, 393 μm)를 측정하였으며 열확산 길이가 길 때에 나타나는 마이크로폰의 형태를 살펴보았다. 그 다음 시료 표면 위에 임의의 흠집을 내어 흠집 부분에서의 광음향 신호를 관측하여 열확산 길이가 달라짐에 따라 변하는 신호의 변화로 흠집깊이와 모양을 살펴보았다.

Fig. 5는 Si 웨이퍼 시료에서 흠집이 있는 거울 면

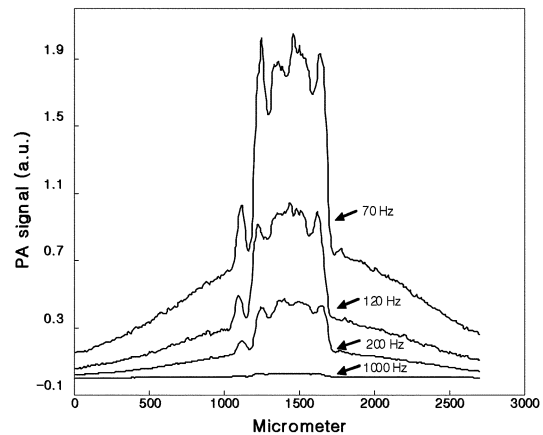


Fig. 5. PA signal for a Si wafer with defect on polished side and focused light on polished side at 70 Hz, 120 Hz, 200 Hz, 1000 Hz.

에 레이저광을 주사함으로써 얻어진 광음향 신호로 낮은 주파수 영역 대에서는 마이크로폰의 형태와 아울러 흠집부분에서 깊이에 따른 광음향 신호가 변화되어 나타남을 볼 수 있다. 이는 광음향 현미경법의 특성을 보여주는 결과로서 시료의 특별한 전처리 없이 기타 다른 방법인 SEM이나 TEM에서 얻을 수 없는 깊이 변화에 따른 광음향 신호의 변화에 대한 정보를 보여주고 있는 것이다. 높은 주파수 영역대인

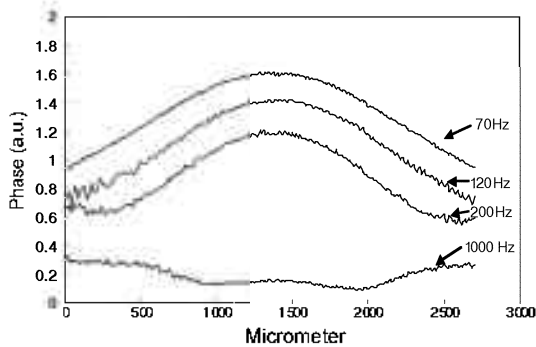


Fig. 6. PA phase for a Si wafer with defect on polished side and focused light on rough side without defect at 70 Hz, 120 Hz, 200 Hz, 1000 Hz.

1000 Hz에서는 마이크로폰의 형태는 알아보기 힘들었으며 아울러 광음향 신호도 약하게 나오는 것을 확인할 수 있었다. 이로써 표면 흠집의 형태와 개략적인 깊이의 측정은 낮은 주파수 영역 내에서 쉽게 확인할 수 있음을 알 수 있다. 이와 같은 그림들을 비교하여 볼 때 반도체 시료 표면에 생겨난 흠집의 형태와 흠집 깊이에 대한 정보를 광음향 신호를 분석함으로써 알 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 지금까지와는 다르게 표면에 대한 정보가 아닌 표면 밑의 정보를 얻기 위해 실험하여 얻은 광음향 신호와 위상값이다. 실리콘 시료 표면의 거울 면에 흠집이 있는 시료를 뒤집어 거친 면에 레이저광을 조사한 경우로써 변조주파수 70 Hz, 120 Hz, 200 Hz에서는 열확산 길이가 시료 두께 근처에 존재함으로써 위상값의 변화가 확연히 달라진 것을 확인할 수 있었다. 그러나 1000 Hz처럼 높은 주파수 영역에서는 열확산 길이가 충분히 짧아 표면 근처에 머무므로 위상값에 큰 변화가 없음을 확인하였다.

Si 반도체 시료 표면에 난 흠집의 전체적인 형태와 두께를 알아보기 위하여 광음향 현미경법으로 영역별로 주사하여 3차원적인 흠집형태를 측정하였다. 흠집이 없는 시료에 대해서는 열확산 길이가 시료의 두께를 충분히 벗어나는 주파수 70 Hz와 열확산 길이가 시료의 두께를 벗어나지 못하는 200 Hz로 고정시킨 후 시료 표면을 분석하였으며, 시료의 거울 면에 흠집이 있는 시료에 대해서는 광음향 신호가 가장 크게 나오는 70 Hz로 고정하여 광음향 현미경법으로 측정하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 실리콘 웨이퍼 시료의 거울 면 위에 생겨난 흠집을 광음향 현미경법으로 측정

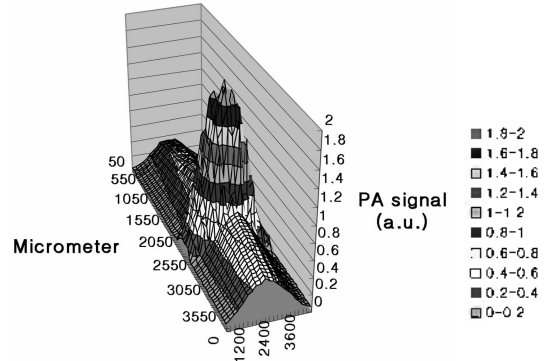


Fig. 7. 3-D image of PA signal from a Si wafer with defect and focused light on polished side at 70 Hz.

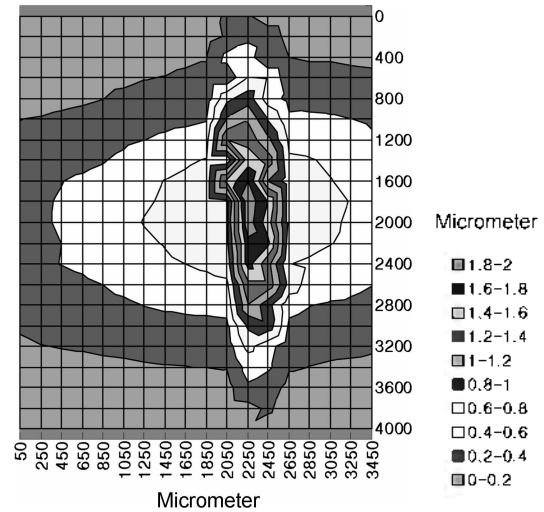


Fig. 8. Top view image of PA signal from a Si wafer with defect and focused light on polished side at 70 Hz.

한 그림이다. 앞에서 보여주는 결과(Fig. 5)와 마찬가지로 흠집이 존재하는 곳에서 광음향 신호가 흠집형태에 따라 급격히 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 이로써 광음향 신호의 시료 표면상태에 따른 의존성에 의해 표면 흠집의 형태를 3차원적 이미지로 표현해 낼 수 있었다. Fig. 7에서 보여 주는 것처럼 흠집 중앙부분이 가장 깊은 흠집이 난 형태로써 가장 큰 광음향 신호를 나타내고 있다. Fig. 8에서는 Fig. 7을 위에서 내려다보는 그림으로써 흠집이 곧은 일자형의 형태가 아닌 윤곽이 일그러진 형태의 흠집 형태라는 것까지 선명하게 보여주고 있으며, 이는 임의의 흠집이 제작되는 과정에서 생겨난 형태라고 판단된다.

Fig. 9는 광학용 현미경에 사용되는 슬라이드글라

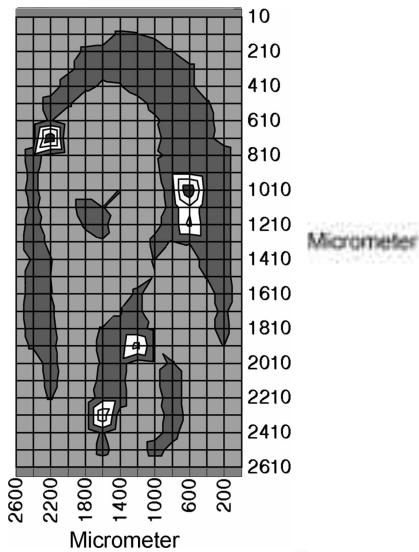


Fig. 9. Top view image of PA signal for 'PA' letters on a slide glass with black ink at 70 Hz.

스 위에 검정 유성 펜으로 'PA' 글씨를 마이크로폰의 구멍 안에 들어가도록 지름 2 mm 크기로 쓴 후 슬라이드글라스 표면 위의 검정 잉크에 의한 광흡수 차이로써 표면 상태를 광음향 현미경으로 측정한 이미지이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 검정 잉크가 있는 부분에서 광음향 신호의 증가로 검출된 신호가 광학적 이미지와 거의 유사함을 알 수 있다. 이것은 광음향 현미경법이 박막의 표면 특성 측정을 위하여 응용할 수 있다는 가능성을 단적으로 보여주고 있는 것이다.

결 론

광음향신호 관계식에서 열확산계수(a)를 알고 시료 두께(l)를 측정하여 시료의 고유한 성질인 열확산도(α)를 구할 수 있었다. 거친 면에서 진성 GaAs의 열확산도는 $0.62 \text{ cm}^2/\text{s}$ 였고 알루미늄 테이프 부착된 곳에서의 열확산도 $0.17 \text{ cm}^2/\text{s}$ 로 측정되었다. 각 시료의 표면에 따라 열확산도 값이 주어지면 변조주파수에 따라 시료의 표면을 X×Y축 상에서 주사하여 3차원 영상을 관찰할 수 있었다. 주사방향은 거친 면 GaAs에서 알루미늄 테이프 부착된 시료 표면으로 진행하였고 70 Hz, 120 Hz, 200 Hz 주파수에서 각각 측정하였다. 70 Hz, 120 Hz에서 열확산길이는 $532 \mu\text{m}$, $406 \mu\text{m}$ 로

각각 측정되었으며 200 Hz에서는 열확산길이가 $315 \mu\text{m}$ 로써 시료 표면 영역에서의 영상을 보여주었다.

흡집이 없는 실리콘 시료에 대한 광음향 신호와 위상값은 드럼 영향(drum effect)에 의한 변화 외에는 특이한 변화를 보여주지는 않았으나 흡집이 있는 시료에 대해서는 드럼 영향 외에 흡집이 시작되는 부분과 끝나는 부분에서 위상의 변화와 흡집 깊이에 따른 광음향 신호의 변화를 확인할 수 있었다.

이와 같이 광음향 현미경 효과는 시료의 광학적 성질과 열적 성질뿐만 아니라 기하학적인 구조, 그리고 때로는 탄성 성질까지 의존하는 경향을 보여준다. 또한 표면에 대한 3차원적 구조상태를 알아볼 수 있는 특성과 표면뿐만 아니라 표면 밑의 결함에 대한 응용이 가능함을 알 수 있었다. 광음향 현미경법을 사용함으로써 생겨난 흡집의 형태에 대한 정보를 광학 현미경 결과와 비슷한 결과를 얻었다. 또한 흡집 깊이에 따른 광음향 신호의 변화를 살펴봄으로써 광학 현미경에서는 살펴볼 수 없는 흡집의 3차원적 구조를 측정할 수 있었다. 광음향 현미경법의 응용은 벌크 반도체의 3차원 표면구조에 국한되지 않고 레이저 집광의 기술과 검출기의 개발로 양자 우물(quantum well)이나 양자 구슬(quantum dot)의 성질을 연구하는 데도 응용되어질 수 있을 것이다.

인 용 문 헌

1. Von Gutfeld, R. J.; Melcher, R. L. *Appl. Phys. Letts.* **1977**, *30*, 257.
2. Wong, Y. H.; Thomas, R. L.; Hawkins, G. F. *Appl. Phys. Letts.* **1978**, *32*, 538.
3. Wickramasinghe, H. K.; Bray, R. C.; Jipson, V.; Quate, C. F.; Salcedo, J. R. *Appl. Phys. Letts.* **1978**, *33*, 923.
4. McFarlane, R. A.; Hess, L. D.; Olson, G. L. *IEEE Ultrason. Symp. Pro.* **1980**, 628.
5. Rosencwaig, A.; Busse, G. *Appl. Phys. Letts.* **1980**, *36*, 725.
6. Favro, L. D.; Kuo, P. K.; Pouch, J. J.; Thomas, R. L. *Appl. Phys. Letts.* **1980**, *36*, 953.
7. Busse, G.; Rosencwaig, A. *Appl. Phys. Letts.* **1980**, *36*, 815.
8. McClelland, J. F.; Kniseley, R. N.; Schmit, J. L. *Proc. Symp. on Scanned Image Microscopy*; Ash, F. A. Ed.; Academic Press: Orlando, FL, A, p 353.
9. Mandaelis A. *Photoacoustic and Thermal wave Phenomena in Semiconductors*; Elsevier Science Publishing

- Co., Inc., 1987; p 23.
10. Rosencwaig A.; Gersho A. *J. Appl. Phys.* **1976**, *47*, 64.
11. Lim, J. T.; Han, H. Y.; Park, S. H.; Kim, U.; Choi, J. G. *J. Kor. Chem. Soc.* **1997**, *41*, 329.
12. Lim, J. T.; Choi, J. G.; Bak, Y. H.; Park, S. H.; Kim, U. *J. Kor. Phys. Soc.* **1997**, *31*, 608.
13. Sze., S. M. *Semiconductor sensors*: 1st ed; New York, 1994; p 536.
14. Touloukian, Y. S.; Powell, R. W.; Ho, C. Y.; Nicolasu, M. C. *Thermal Diffusivity*; IFI/Plenum: New York, 1973.
15. Sawada, T. and Kasai, M. *Photoacoustic and Thermal Wave Phenomena in Semiconductors*; North-Holland: New York, 1987; p 5.
-