

공초점 방식을 이용한 기판 사이의 공기갭 측정

이선우 · 안광신 · 권남익[†]

한국의외국어대학교 전자물리학과
☎ 449-791 경기도 용인시 모현면 왕산리 산89

(2009년 6월 23일 받음, 2009년 8월 11일 수정본 받음, 2009년 8월 11일 게재 확정)

공초점 방식을 이용하여 두 기판사이의 얇은 공기갭의 두께를 측정하는 방법을 제안하였다. 공기갭이 약 200 nm 이내 일때는 두 기판면이 초점의 레일리 영역 안에 있으므로 완전한 간섭신호를 측정할 수 있었다. 또 초점영역 근처에서의 간섭무늬만 측정되므로 다층 박막중에 존재하는 공기갭이라도 측정할 수 있는 장점이 있다. 간섭무늬 변화가 작은 영역을 제외하면 1 nm 이내의 안정도를 가진다.

Air Gap Measurement between Substrates Using Confocal Technique

Sun-Woo Lee, Kwangsin Ahn, and Namic Kwon[†]

Department of Electronic Physics, Hankuk University of Foreign Studies
San 89, Wangsan-Ri, Mohyun-Myun, Yongin 449-791, Korea

[†]E-mail: namic@hufs.ac.kr

(Received June 23, 2009; Revised manuscript August 11, 2009; Accepted August 11, 2009)

A confocal technique was demonstrated for measuring the absolute value of an air gap between substrates. Since the two surfaces were in Rayleigh range of the laser focus for air gaps less than 200 nm, complete interference patterns were observed. And since interference patterns were obtained only from the area of focus, it was an advantage of this method that air gaps between multiple thin films could be measured. Stability is less than 1 nm except in the range where the interference pattern changes slowly.

Keywords: Air Gap, Confocal Technique, Interference

OCIS codes: (120.3180) Interferometry; (180.1790) Confocal microscopy; (310.0310) Thin films

I. 서 론

최근 광학적 접합에 의한 박막이나 nanoimprint lithography 등의 공정에서 얇은 공기갭의 정확한 측정이 요구되고 있다.^[1,2] 박막 트랜지스터에서도 저항막이 공기층으로 만들어지고 있으며 이 공기층은 두께뿐만 아니라 평면상의 크기도 아주 작아서 측정이 어려워 그 방법이 절실하다.^[3,4]

얇은 박막이나 공기갭의 두께 측정에는 일반적으로 피조 방식의 간섭계가 많이 사용되고 있다. 피조 방식의 간섭계는 주로 넓은 면적을 가진 평판의 상대적인 두께나 편평도의 측정에 이용된다. 피조 방식으로 두께의 절대 값을 측정하기 위해서는 여러 가지 파장의 빛이 사용되어야 하지만 피조정체의 두께가 파장의 1/4 이하인 경우에는 단일 파장으로도 가능하다. 이를 이용하여 원자현미경의 탐침을 시료표면에 접근

시킬 때 탐침 모듈에 광섬유를 부착하여 광섬유의 단면과 시료 표면에서 반사된 빛의 간섭현상을 이용하여 탐침의 접근 거리를 모니터 하기도 한다.

측정하고자 하는 박막이나 공기갭이 여러 층의 박막과 함께 있을 경우에는 간섭현상이 여러 막에서 복합적으로 일어나기 때문에 단순한 피조 방식으로는 측정이 곤란해진다. 이런 경우에는 원하는 위치의 박막이나 공기층의 두께를 측정하기 위해서, 저 간섭성의 광원을 이용하여 외부 기준면과의 간섭을 이용하여 측정하기도 한다.^[5-7] 특히 공기갭은 항상 간섭을 일으키는 다른 표면들과 함께 존재하기 때문에 일반적인 피조 방식으로는 그 두께를 측정하기 어려운 경우가 많다.

본 실험에서는 공초점 방식을 이용하여 이렇게 측정을 원하는 공기갭이 여러 층의 박막 아래에 있을 때도 그 두께의 절대값을 쉽게 측정할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 방법은 특히 공초점을 이용하기 때문에 아주 좁은 시료의 영역에

[†]E-mail: namic@hufs.ac.kr

서도 사용이 가능하며, 초점의 위치를 국지적으로 한정하기 쉬우므로 횡적으로나 종적으로 원하는 지점의 공기갭을 측정하기 용이하다. 이 절대값 측정 방법은 공기갭의 크기가 약 $200 \text{ nm}(\lambda/4)$ 이하인 경우에만 사용 가능하다.

II. 측정원리

공초점 방식을 이용한 공기갭의 측정방식은 기본적으로 피조 방식과 같으며 아주 간단하다. 공기갭의 앞면과 뒷면에서 반사된 빛의 간섭현상을 이용하는 방법이다. 두 시료면의 재질이 같은 등고도 간섭계에서, 뒷면에서 반사된 빛은 앞면을 두 번 통과하게 되며 경로차이는 간격의 2배이므로 간섭신호 I 는^[8]

$$I = I_0(1 + T^2 + 2T \cos \frac{4\pi d}{\lambda}) \quad (1)$$

이다. I_0 는 앞면에서의 반사 신호, d 는 두 면 사이의 거리, λ 는 사용된 레이저 빛의 파장, T 는 시료면의 투과율이며, 시료가 굴절율이 1.5인 유리일 경우 0.96이 된다.

공초점현미경의 반사 신호는 초점을 벗어나면 급격히 변하지만 초점의 레일리 영역에서는 거의 변하지 않는다. 그래서 공기갭을 종축 방향으로 주사할 때 얻는 공초점 신호 I 와 앞면 하나만을 주사할 때 얻는 공초점 신호 I_0 는 식 (1)을 만족한다. 그래서 공기갭 d 는 공초점 신호 I 로부터 바로 구할 수 있다.

본 실험에서 제안하는 공초점 방식으로 공기갭의 절대값을 측정하기 위해서는 I_0 와 T 값의 정보가 꼭 필요하다. 측정하고자 하는 공기갭이 다층 박막의 뒤에 있을 경우, 모든 다층 박막을 포함한 상태에서 앞면의 공초점 신호가 I_0 가 된다. 정확한 I 값을 얻을 수 없으면 상대적인 크기밖에 측정하지 못한다.

III. 실험 및 결과

공초점 신호의 측정에는 CD pick-up 장치를 사용하였다.(Samsung SOH-RS32) 반도체 레이저는 파장이 784 nm이고 대물렌즈의 초점거리는 2.4 mm이며, 대물렌즈를 종축으로 약 1.5 mm씩 주사할 수 있는 갈바노 스테이지가 포함되어 있다. CD pick-up 장치는 그 자체로서 한 축을 주사할 수 있는 공초점 현미경의 기능을 갖추고 있어 간단한 공초점 신호 검출에 편리하게 이용할 수 있다. 평판 시료로는 두께가 1.1 mm이며 굴절율이 1.53인 슬라이드글라스를 사용하였으며 전체 시스템의 개요도는 그림 1에 나와 있다.

공기갭의 크기가 약 10 μm 이상일 경우 대물렌즈를 종축으로 이동시키면 두 표면의 신호가 분리되기 때문에 갭의 크기를 바로 알 수 있다. 공기갭의 크기가 더 작아지면 간섭신호가 나타나기 시작한다.

그림 2에서는 공기갭의 변화에 따른 간섭신호의 변화를 볼

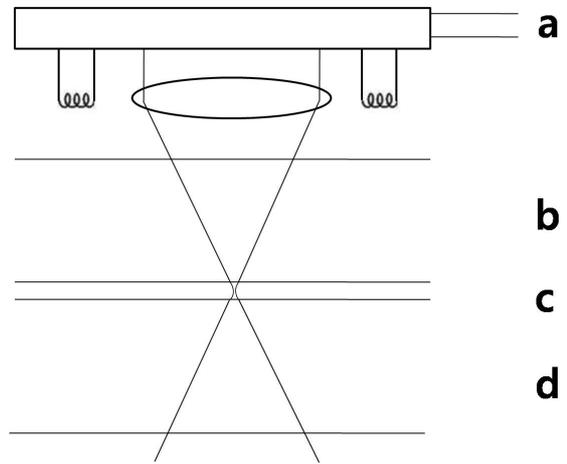


Fig. 1. A diagrammatic representation of the experimental set-up. a; CD Pickup. b, d; slide glass. c; air gap.

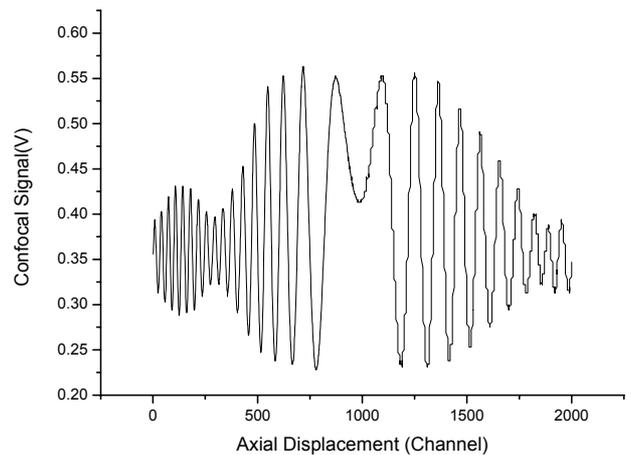


Fig. 2. Confocal signal with a variation of air gap. While laser beam was focused at the upper surface, the lower surface was approached to the upper one and moved away. Distances between each peaks are 196 nm($\lambda/4$).

수 있다. 공초점 신호가 최대가 되도록 초점을 위 슬라이드글라스의 아랫면에 고정시키고 아래 슬라이드글라스를 움직이며 살펴본 공초점 신호의 변화이다. 각 피크간의 간격은 반파장에 해당하며 392 nm이다. 아래 슬라이드글라스의 윗면을 최대한 위 슬라이드글라스의 아랫면에 접근시키기 위해 아래 슬라이드글라스를 1 mm² 정도로 작게 잘랐으며 10 Hz sine파의 갈바노 스테이지로 움직였다. x축상의 등간격이 중요하지 않고 sawtooth 파를 이용하면 갈바노 스테이지에서 떨림도 있어 부드러운 sine파를 이용하였다. Sine파로 주사했기 때문에 피크가 x축 상에서 등 간격이 아니며, 오른쪽 피크들과 왼쪽 피크들의 간격이 다른 이유는 올라갈 때와 내려갈 때의 갈바노 스테이지의 속도가 다르기 때문이다. 이 피크들이 몇 번째 피크 인지는 정확히 알 수는 없지만 두 표면이 접근할수록 간섭성이 커짐을 알 수 있다.

식 (1)을 확인하기 위하여 두 면이 접촉했을($d=0$) 때의 신호와 상쇄간섭($d=\lambda/4$) 때의 신호 값을 측정하였다. 그림 2의

방법으로는 두 면이 접촉하여 공기갭이 0일때의 신호와 첫 번째 상쇄간섭 신호를 구할 수 없기 때문에, 이 값들을 얻기 위해서는 다른 방법을 사용하였다. 두 슬라이드글라스의 한 지점을 강제로 눌러 놓은 상태에서 그 지점에서 조금씩 벌어지는 쪽으로 횡으로 위치를 바꿔 가면서 첫 번째 최대 공초점 신호, 첫 번째 최소 공초점 신호, 두 번째 최대 공초점 신호들을 측정하였다. 공초점 신호는 종축으로 주사하면서 피크값에서 구하였다.

첫 번째 표면에서의 공초점 신호, 즉, 하나의 슬라이드글라스의 아랫면을 주사하여 얻은 신호의 피크 값에서 바닥 값을 뺀 값인 I_0 는 125 mV였으며, 그러므로 식 (1)에 의하면 I 값은 접촉면에서 480 mV, 첫 번째 상쇄간섭 지점에서는 2 mV가 되어야 한다. 그러나 실제로는 약간 다르게 측정 되었다. 접촉면에서는 480 mV가 나왔으나, 상쇄간섭 지점에서는 40 mV의 높은 값이 나왔다. 상쇄간섭 지점에서 최소값이 약간 높게 나오는 이유는 종축상의 위치에 따른 공간적인 정렬이 미세하게 다르기 때문이라 생각된다. 즉, 그림 3에서도 보이는 바와 같이 공초점 신호가 종축상에서 정확히 대칭이 아니다. 그래서 완벽한 상쇄간섭이 일어나지 않았다고 본다. 이는 각 CD pick-up의 특성이기 때문에 시료에 따라 그 성질이 달라지진 않을 것이다. 그래서 측정된 공초점 신호에서 공기갭을 계산할 때는 식 (1)을 이에 맞게 cosine 함수의 진폭과 offset을 보정하여 사용하였다. 또 이 보정율은 같은 CD pick-up에서는 동일하며 시료에 따라 달라지지 않는다.

본 측정법을 시험해 보기 위해서 50 nm의 금 박막이 코팅된 슬라이드 커버글라스를 이용하여 공기갭을 만들어 측정해 보았다. 금박이 코팅된 커버글라스 위에 슬라이드 글라스를 눌러 밀착시키고 코팅된 바로 옆 부분에서 공초점 신호를 측정하였다. 개요도는 그림 1과 비슷하며 단지 d 가 얇은 커버글라스로 바꾸고 공기갭이 금박코팅에 의해 만들어진 것이다. 한 지점에서 종축으로 주사하며 얻은 전형적인 공초점 신호는 그림 3과 같다. 첫 번째 피크는 슬라이드글라스의 아랫면과 커버글라스의 윗면의 간섭에 의한 것이며 두 번째 피크는 두께가 150 μm 인 커버글라스 아랫면에 의한 것이다. 커버글라스의 굴절율이 1.53이므로 실제로 두 피크 사이에 대물렌즈의 이동거리는 두께를 굴절율로 나눈 값인 100 μm 가 된다.^[7]

보정된 식 (1)을 이용하여 그림 3의 첫 번째 피크 값 I 로부터 그 지점의 공기갭 d 를 구할 수 있다. 금박 코팅된 경계면에서 약 0.5 mm 떨어진 지점에서 금박 경계선에 평행하게 이동하며 각 지점의 두께를 구한 결과가 그림 4에 나와 있다. 각 지점간의 간격은 0.2 mm이고 두께의 측정 안정도는 1 nm이며 각 점의 사각형 안에 들어간다. 공기갭의 변화가 심하고 불규칙적이어서 안정도가 나쁘게 생각될 수도 있으나 이는 실제 공기갭의 변화 때문이다. 그림 3의 첫 번째 피크 값 I 로부터 보정된 식(1)을 이용하여 그림 4의 공기갭 d 를 구할 때, I 의 5 mV 차이가 d 의 1 nm 차이로 나타난다. 피크 값 I 를 측정할 때, 그 신호의 안정도는 5 mV 이하이므로 공기갭 d 의 측정 안정도도 1 nm 이하이다.

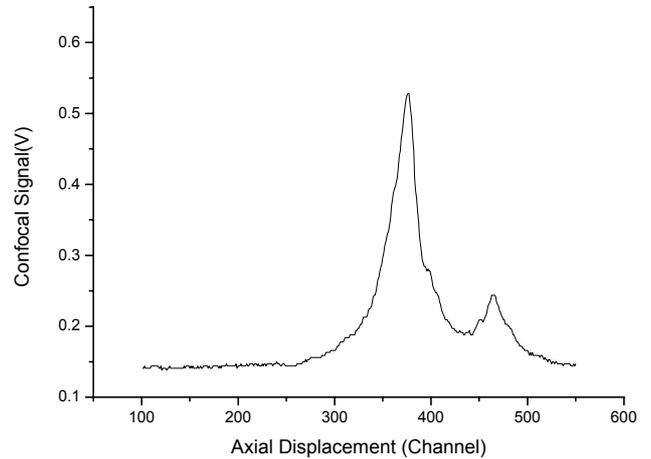


Fig. 3. A typical confocal signal from three surfaces as a function of the focus position. The 1st peak is from the air gap between two surfaces separated by 50 nm, and the 2nd peak is from bottom surface of the cover glass 150 μm thick.

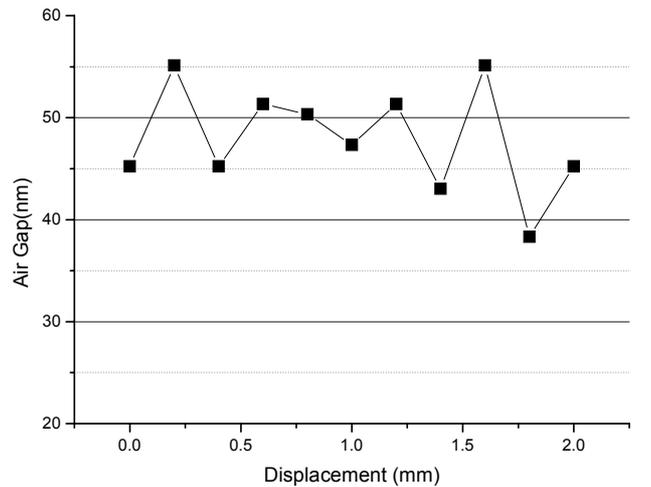


Fig. 4. Measured air gaps about 50 nm along the line. The gap was obtained from 1st peak in Fig. 3.

IV. 결 론

본 연구에서는 공초점 방식을 이용하여 200 nm 이하의 얇은 공기갭의 두께를 측정하는 방법을 제안하였다. 이 방식은 다층 박막 속에 있는 공기갭의 경우에도 이용할 수 있으며, 특히 공기갭의 평면상의 크기가 미세할 때도 이용 가능한 장점이 있다. 간섭신호의 변화가 적은 10 nm 이내의 경우와 190 nm 근처에서는 다소 나쁜 안정도를 가지지만, 그 사이의 공기갭에서는 1 nm 이내의 안정도를 가진다. 절대값을 정확히 측정하기 위해서는 우선 단일면에서의 공초점 신호 I_0 와 그 면에서의 투과율 T 에 대한 정확한 정보가 필요하다.

공기갭이 아니라 thin film 층이나 접착제로 채워진 박막의 경우에도 한 면에서의 공초점 신호와 그 면을 이루는 물질의 굴절율 정보만 있으면 그 층의 두께를 측정할 수 있다. 그러므로 어떤 공정 상에서 thin film 층이나 접착제 층의 두께를

반복적으로 확인해야 하는 경우 편리하게 사용할 수 있다. 또 그림 3에서 보인 것처럼 원하는 공기갭을 측정하기 위해 초점을 움직이면 주위에 있는 경계면의 공초점 신호가 나타나므로 목표 지점을 찾는 데 도움을 주기도 한다.

감사의 글

본 연구는 2008학년도 한국외국어대학교 학술연구비 지원에 의해 이루어진 것입니다.

References

1. J. Floriot, F. Lemarchand, L. Abel-Tiberini, and M. Lequime, "High accuracy measurement of the residual air gap thickness of thin-film and solid-spaced filters assembled by optical contacting," *Opt. Comm.* **260**, 324-328 (2006).
2. P. F. Murphy, K. J. Morton, Z. Fu, and S. Y. Chou, "Nanoimprint mold fabrication and replication by room-temperature conformal chemical vapor deposition," *Appl. Phys. Lett.* **90**, 203115 (2007).
3. H. Mahfoz-Kotb, A. C. Salaün, T. Mohammed-Brahim, and O. Bonnaud, "Air-gap polycrystalline silicon thin-film transistors for fully integrated sensors," *IEEE Elect. Dev. Lett.* **24**, 165-167 (2003).
4. M. S. Grover, P. A. Hersh, H. Q. Chiang, E. S. Kettenring, J. F. Wager, and D. A. Keszler, "Thin-film transistors with transparent amorphous zinc indium tin oxide channel layer," *J. Phys. D: Appl. Phys.* **40**, 1335-1338 (2007).
5. D.-S. Park, B.-H. O, S.-G. Park, E.-H. Lee, and S. G. Lee, "Simultaneous measurement of thickness and refractive index of transparent material using a collimated beam having a finite radius," *Hankook Kwanghak Hoeji (Korean J. Opt. Photon.)* **20**, 29-33 (2009).
6. Y.-S. Ghim and S.-W. Kim, "Spectrally resolved white-light interferometry for 3D inspection of a thin-film layer structure," *Appl. Opt.* **48**, 799-803 (2009).
7. T. Fukano and I. Yamaguchi, "Simultaneous measurement of thickness and refractive indices of multiple layers by a low-coherence confocal microscope," *Opt. Lett.* **21**, 1942-1944 (1996).
8. E. Hecht, *Optics* (Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1987), Chapter 9.