

## 다출력단 호모다인 간섭계를 이용한 위상 및 반사율 분포의 동시 측정

### Simultaneous Measurements of Local Phase and Reflectivity

### Variation of a Surface Using Multiport Homodyne Interferometer

정희성, 김종희\*, 조규만  
서강대학교 물리학과, \*한국전자통신연구원  
s299031@ccs.sogang.ac.kr

표면 형상을 측정하는 방법은 샘플표면의 평평도, 곡률, 거칠기, 깊이 측정등의 수많은 상업적 응용을 위해 광범위하게 개발되어왔다. 이중에서도 특히 간섭현상을 이용한 광 표면 프로파일러는 표면의 3차원 구조를 측정하는데 있어서 subangstrom의 매우 높은 깊이 분해능을 가지므로 샘플 표면의 정밀 진단에 많이 사용되어 왔다.[1,2]

광 간섭 현미경은 기본적으로 광위상 변화를 검출하여 그것을 표면구조변화로 바꾸어주는 역할을 한다. 그러나 광위상 변화는 샘플 표면의 구조뿐만 아니라 물질 변화와 박막두께 변화에도 민감하므로 순수한 표면구조측정은 샘플이 단일물질인 경우에만 달성된다는 문제점이 있다. 따라서 이러한 광위상 측정과 관련된 ambiguity를 해결하기 위해서는 일반적인 광 간섭 현미경에서 얻어지는 위상데이터와 더불어 물질변화를 분석할 수 있는 다른 추가적인 데이터가 필요하다. 이러한 필요성 때문에 우리는 광위상 뿐만 아니라 반사율 분포도 동시에 측정할 수 있는 새로운 방식의 다출력단 호모다인 간섭계(Homodyne I/Q Interferometer; HIQI)를 구성하였으며[3], 그 실험장치도는 [Fig. 1]과 같다. HIQI는 in-phase and quadrature 검출방식에 기반을 두며, 이 검출방식은 PBS에서 반사되는 빛살과 투과되는 빛살 사이의 위상차가  $\pi/4$ 라는 실험결과로부터 달성된다. HIQI는 샘플 표면의 3차원 구조 뿐만 아니라 광학적 특성의 2차원 분포도 동시에 얻을 수 있다.

[Fig. 2(a),(b)]는 InP substrate위에 새겨진 PR(photoresist) pattern에 대한 상용 현미경 영상이고, [Fig. 2(c),(d)]는 HIQI를 이용한 2차원 scan 결과이다. 상용 현미경 영상과 HIQI 영상을 비교해보면 상용 현미경에서 보이는 PR pattern 및 결함들이 HIQI 영상에서 위상과 반사율로서 정량적으로 측정되었다는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 정량적인 data들을 이용하면 PR 박막의 굴절률과 두께와 같은 광학 상수들을 동시에 구할 수 있을 뿐만 아니라, 결함에 대한 정성·정량적인 분석도 가능하다.

PR 박막에서 반사되는 빛의 반사계수를 나타내는 식은 다음과 같다.

$$r = \frac{r_{12} + r_{23}e^{-2i\beta_2}}{1 + r_{12}r_{23}e^{-2i\beta_2}} = \sqrt{R}e^{i\theta}, \quad \beta_2 = \frac{2\pi d}{\lambda} n_2 \quad (1)$$

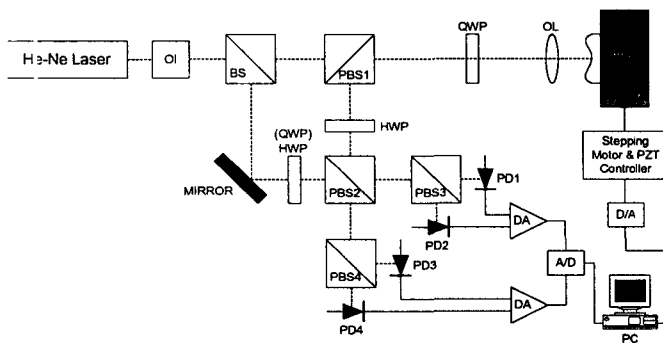
여기서  $r_{12} = r_{12}(n_1, n_2)$ ,  $r_{23} = r_{23}(n_2, n_3, k_3)$ 은 각각 air에서 PR, PR에서 InP로의 반사계수, R은 샘플의 반사율,  $n_1$ ,  $n_2$ 는 각각 공기와 PR의 굴절률,  $n_3$ ,  $k_3$ 는 각각 InP의 굴절률과 소광계수이

며,  $\phi$ 는 다중반사에 의해 유도되는 위상 변화를 나타낸다. HIQI 시스템으로 구한 PR 박막과 InP substrate에 대한 위상과 반사율 정보를 식(1)에 대입하여 simulation을 한 결과 PR 박막의 두께는 250.5nm, 굴절률은 1.679으로 계산되었다. conventional stylus에 의해 측정된 PR 두께는 249.8nm이고, conventional spectroscopic ellipsometer에 의해 측정된 PR 굴절률은 1.6768이므로, HIQI에 의해 구한 PR 두께 및 굴절률 값은 0.2%이내의 오차율을 가지고 매우 정확하게 구해졌다는 것을 알 수 있다.

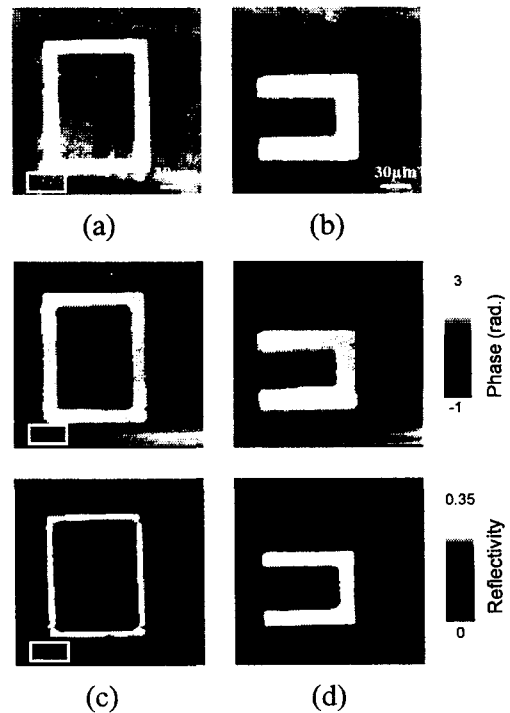
한편 식(1)에 의하면  $n=1.679$ ,  $d=250.3\text{nm}$ 인 PR에 대해서 굴절률이나 두께가 증가하는 경우 반사율과 위상은 같이 감소되어야 한다. [Fig. 2(c)]에서 square로 표시된 결함은 반사율의 감소와 동시에 위상도 같이 감소되므로, 이 결함은 PR이 묻혀졌거나 증착시 다른 이물질에 의해 굴절률이 증가됨과 동시에 표면이 약간 돌출되어 발생된 것으로 여겨진다. 또한 [Fig. 2(c)]의 PR pattern 안쪽에서 보이는 반사율이 감소되는 부분은 PR이 균일하게 증착되지 않아서 다른 부분에 비해 PR의 두께가 약간 두꺼워서 발생된 것으로 보인다.

**[참고 문헌]**

1. K. Cho, D. L. Mazzone, and C. C. Davis, Opt. Lett. 18, 232 (1993).
2. J. P. Lesso, A. J. Duncan, W. Sibbett, and M. J. Padgett, Opt. Lett. 23, 1800 (1998).
3. 장희성, 김종희, 조규만, 제15회 광학 및 양자전자 학술 발표회, 22 (1998).



**[Fig. 1]** System setup of the multiport homodyne interferometer: OI, optical isolator; BS, beam splitter; PBSs are polarization beam splitters; QWP, quarter-wave plate; HWP, half-wave plate; PDs are photodiodes; OL, objective lens; DA, differential amplifier; A/D and D/A, analog-to-digital and digital-to-analog converter.



**[Fig. 2]** (a), (b) Optical microscope images of various PR patterns (c), (d) Corresponding HIQI images for the phase and reflectivity of (a) and (b), respectively. Each image corresponds to a field of  $256\mu\text{m} \times 256\mu\text{m}$