

정밀 현미경을 이용한 LCD 공정 관리용 선폭 시편 측정 Measurements of Linewidth Specimen for the Control of LCD Manufacturing Process using Precision Microscopes

*김종안, 김재완, 강주식, 엄태봉

**J.-A. Kim (jakim@kriss.re.kr), J. W. Kim, C.-S. Kang, T. B. Eom
한국표준과학연구원 기반표준부 길이/시간 그룹

Key words : Linewidth, Critical Dimension, Optical Microscope, Atomic Force Microscope

1. 서론

반도체, LCD 와 같은 첨단 제품의 생산 공정에서는 미소한 크기를 갖는 구동 소자 제작을 위해 리소그래피 기술이 널리 이용되고, 구조물의 크기와 직접적으로 관련된 핵심 치수 (CD)인 선폭 (linewidth)이 주요한 공정 관리 항목이 된다. 측정이 필요한 선폭의 크기는 산업 분야와 제품 종류에 따라 달라 지는데, 반도체 산업에서는 수십 nm 수준의 선폭 측정 능력이 요구되는데 비해 LCD 산업에서는 수 μm 이상의 크기를 갖는 선폭의 측정이 주로 이루어지고 있다. 선폭 측정에는 여러 가지 정밀 현미경이 적용되는데, 반도체 산업에서는 nm 수준의 분해능을 갖는 주사전자현미경 (SEM), 주사탐침현미경 (SPM) 등이 적용되고 가시광의 회절 한계 이상의 선폭 크기를 갖는 LCD 생산 공정에서는 광학현미경 (OD)이 주로 사용된다. 광학현미경의 측정 성능을 향상시키기 위해서는 자외선 영역의 광원을 사용하거나 스캐닝 방식의 선폭 측정 방법이 적용된다. LCD 생산 공정의 선폭 관리를 위해 사용되는 선폭 시편은 여러 가지 선폭 크기를 갖는 양각과 음각 패턴을 가지고 있고 각 패턴의 선폭 인장값과 생산 장비의 측정값을 비교하여 생산 공정을 관리한다.

광학 현미경으로 측정된 선폭 시편의 이미지는 광원과 시편의 상호작용으로 얻어지는 강도 분포의 변화이다. 따라서 선폭 시편의 엣지 부분은 스텝 형태로 만들어진 실제 형상과는 달리 어떤 연속적인 강도 분포 변화로 얻어진다. 이러한 강도 분포로부터 선폭 값을 결정하기 위해서는 엣지 위치를 정확하게 결정하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 peak to peak 법, threshold 법, 최대기울기법, 직선회기법 등의 엣지 위치 결정 방법이 사용된다. 그러나 보다 정확한 엣지 위치 결정을 위해서 광학 현미경과 선폭 시편의 광학적인 특성을 고려하는 이론적인 계산 방법을 적용하기도 한다¹. AFM 을 이용한 선폭 측정에서도 팁과 시편의 상호작용이 발생되어 이미지가 왜곡되고 선폭 측정 불확도가 증가된다. 선폭 구조물의 하단부로 갈수록 이러한 왜곡이 증가되기 때문에 일반적으로 측정된 이미지 최상부의 선폭 (top linewidth)를 선폭 값으로 이용한다. 이러한 영향을 최소화하기 위해서 선폭 구조물의 옆면을 직접적으로 측정할 수 있는 CD-AFM 을 이용하거나 직경이 수십 nm 수준인 탄소나노튜브 탐침 (CNT Tip)을 이용하기도 한다.

본 논문에서는 LCD 공정 관리용 선폭 시편 측정을 위한 정밀 현미경에 대해 서술하고 이를 이용한 선폭 측정 방법과 결과에 대해 논의한다.

2. 정밀 현미경

LCD 공정 관리용 선폭 시편의 측정에서는 광학 현미경이 주로 이용되고 길이 표준 소급성을 갖는 원자간력 현미경 (MAFM)이 보조적으로 이용된다 (Fig 1).

광학 현미경은 Leitz 사의 METTALOPLAN 을 개조한 것으로 광원의 방향을 조절하여 반사와 투과 방식의 측정이 가능하다. 측정하고자 하는 선폭의 크기에 따라 대물렌즈 (objective lens)를 교체할 수 있고 최대 100 배의 배율을 갖는 대물 렌즈를 이용하여 3 μm 정도의 크기를 갖는 선폭까

지 측정 할 수 있다. 2 차원 CCD 카메라 (해상도: 1024 \times 768)를 이용하여 시편의 이미지를 획득하고 이를 처리하여 선폭, 피치, 선간 거리 값 등을 계산한다.

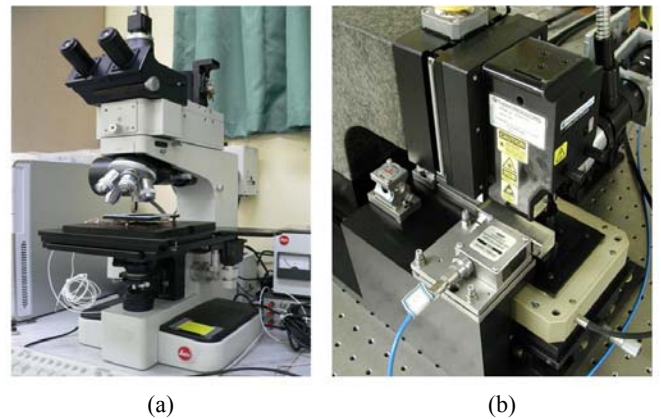


Fig. 1 Precision microscopes for the measurement of linewidth; (a) modified optical microscope; (b) metrological AFM

광학 현미경을 정밀 길이 측정에 이용하기 위해서는 정확한 배율 교정이 필요하다. 배율 교정은 3 μm 와 10 μm 의 공칭 피치 값을 갖는 1 차원 격자 피치 시편을 이용하여 이루어졌다. MAFM 을 이용하여 교정된 각 격자 시편의 평균 피치 값과 확장 불확도 ($k = 2$)는 (2999.9 \pm 3.9) nm, (9999.4 \pm 4.8) nm 이다. 광학 현미경을 이용하여 격자 시편 중앙부에 3 \times 3 패턴으로 균일하게 분포된 9 개의 위치에서 평균 피치값에 해당하는 픽셀 값을 측정하고 평균 피치 교정 값과 비교하여 각 대물렌즈에 대한 배율 ($\mu\text{m} / \text{pixel}$)을 결정하였다.

MAFM 은 상용 AFM 의 측정 성능을 향상 시키기 위해 스캐너를 교체하고 2 축 레이저 간섭계를 부착한 것으로 nm 수준의 공간 분해능으로 미소 구조물의 3 차원 형상 정보를 얻을 수 있어 선폭, 단차, 피치 등과 같은 여러 가지 나노미터 영역의 길이 측정이 가능하다².

3. 선폭 측정

본 연구에서는 광학 현미경을 이용한 선폭 측정의 threshold level 을 결정하기 위해서 이론적인 계산 방법을 직접 적용하지 않고 이러한 방법으로 교정된 선폭 표준 시편 (NBS SRM475)과 측정값을 비교하여 threshold level 을 결정하였다. 일반적으로 선폭 시편은 유사한 광학적인 특성을 갖고 있기 때문에 이러한 간접적인 방법을 적용하여도 비교적 정확한 선폭 측정값을 얻을 수 있다.

Threshold level 결정에 이용된 선폭 표준 시편은 1 μm ~ 10 μm 범위의 선폭 값을 갖는 양각과 음각의 선폭 패턴을 가지고 있으며 선폭 교정 값이 갖는 확장 불확도는 ± 0.05 nm 수준이다. 광학 현미경의 100 배 대물 렌즈를 이용하여 선폭 표준 시편을 측정한 결과는 Fig. 2 와 같다. 광학 현미경의 반사와 투과의 두 가지 측정 방식을 이용한 것으로 선폭 측정값과 교정값의 차, 측정값의 확장 불확도 ($k = 2$)

와 교정값의 불확도를 함께 나타내었다.

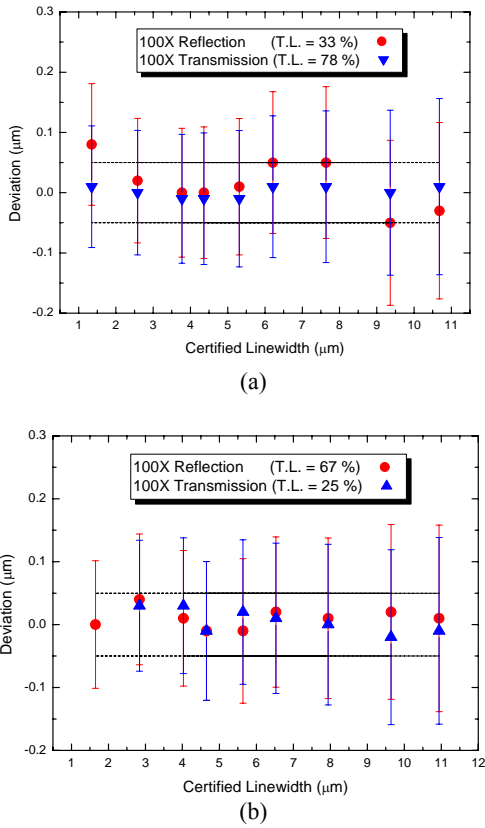


Fig. 2 Comparison of measured linewidth with the certified values (NBS SRM475); (a) clear lines; (b) opaque lines

광학 현미경의 측정 방식과 배율 그리고 시편의 패턴 방식에 따라 threshold level 이 서로 다르게 결정된다. 결과에서 보면 선폭 인증값과 측정값은 불확도 범위 내에서 서로 잘 일치함을 알 수 있다. 측정 불확도 산출에서는 현미경 배율, 엣지 검출, 측정 반복도, 시편 균일도 등의 불확도 요인이 고려된다. 이러한 불확도 요인을 고려하여 결정된 선폭 측정값의 확장 불확도 ($k = 2$)는 $\sqrt{(0.1\mu\text{m})^2 + (0.01 \times L)^2}$ 수준이다. 엣지 결정 과정에서 발생하는 불확도가 가장 큰 부분을 차지하는데 이를 감소시키기 위해서는 보다 정확한 threshold level 결정을 위한 이론적인 해석과 스캐닝 방식을 이용한 강도 측정의 적용 등이 필요할 것이다.

동일한 threshold level 을 다른 선폭 표준 시편 (Nikon)의 양각 패턴 측정에 적용한 결과는 table 1 과 같다. 100 배의 대물 렌즈를 사용하였고 반사 방식을 이용하여 측정하였다.

Table 1 Comparison of measured linewidth with the certified values

공칭 선폭 (μm)	인증값 (μm)	측정값 (μm)	확장 불확도 ($k=2$) (μm)
1.5	1.34	1.32	0.10
3.0	2.84	2.89	0.10
5.0	4.84	4.85	0.11

MAFM 을 이용한 선폭 측정에서는 Fig. 3 과 같이 선폭 구조물의 단면 프로파일을 얻은 뒤 이를 해석하여 선폭값을 얻는다. 서론 부분에서 서술한 것과 같이 팁과 시편의 상호 작용에 의해 발생하는 왜곡의 영향을 최소화하기 위하여 최상부의 선폭을 선폭값으로 결정하였다. 최상부와 최하부의 선폭 측정값을 보면 0.5 μm 정도 차이가 나타난다 (Fig. 3).

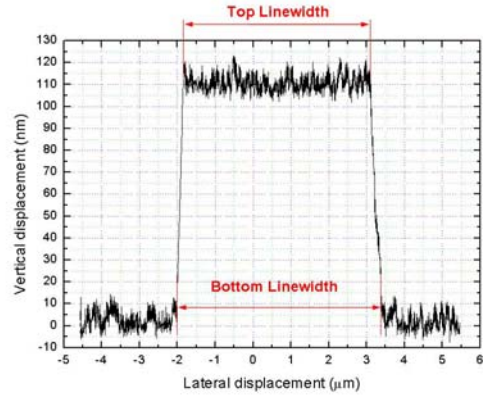


Fig. 3 Sectional profile of a linewidth specimen measured using MAFM (nominal linewidth = 5 μm)

두 가지 종류의 선폭 시편을 광학 현미경과 MAFM 을 이용하여 측정하고 측정 결과를 서로 비교하였다 (table 2). MAFM 을 이용한 측정값의 불확도 평가가 완료되지 않았기 때문에 측정 위치에 따른 선폭 측정값의 표준 편차를 나타내었다. 결과에서 보면 두 가지 정밀 현미경으로 얻어진 선폭 측정값은 확장 불확도 범위 내에서 서로 일치함을 알 수 있다.

Table 2 Comparison of the measurement results of linewidth (OD vs. MAFM)

시편 제조사	공칭 선폭 (μm)	OD ¹ (μm)	MAFM ² (μm)	측정값 차 (μm)
Nikon	3	2.89 ± 0.10	2.94 ± 0.07	0.05
	5	4.85 ± 0.11	4.89 ± 0.04	0.04
	20	20.00 ± 0.22	19.83 ± 0.03	0.17
Roko	3	2.97 ± 0.10	2.99 ± 0.07	0.02
	5	5.01 ± 0.11	4.95 ± 0.05	0.06
	10	10.03 ± 0.14	10.01 ± 0.06	0.02

¹ 측정값 ± 확장 불확도 ($k=2$)

² 측정값 ± 표준 편차

4. 결론

본 연구에서는 광학 현미경과 MAFM 을 이용하여 LCD 공정 관리용 선폭 시편을 측정하였다. 선폭 표준 시편의 교정값과의 비교를 통하여 광학 현미경을 이용한 선폭 측정의 threshold level 을 결정하고 측정 성능을 실험적으로 검증하였다. MAFM 을 이용한 선폭 측정에서는 최상부의 선폭을 이용하여 선폭값을 결정하였고 광학 현미경을 이용한 측정값과의 비교를 통하여 타당성을 검증하였다. 이와 같은 실험 결과에서 볼 때 광학 현미경과 MAFM 은 3 μm 이상의 크기를 갖는 선폭 측정에 효과적으로 적용될 수 있고 서로 상보적인 정보를 제공할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Nyyssonen, D., "Linewidth measurement with an optical microscope: the effect of operating conditions on the image profile," Applied Optics, 16, 2223-2230, 1977.
- Kim, J.-A., Kim, J. W., Park, B. C., Eom, T. B. and Hong, J. W., "Development of a metrological atomic force microscope for the length measurements of nanometer range," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 11, pp. 75-82, Nov. 2004.