

## Contrast 향상 필름 평가를 위한 실시간 검사장치 개발

이혁교<sup>†</sup> · 전병혁 · 이희운 · 이윤우

한국표준과학연구원 우주광학연구단  
☎ 305-340 대전시 유성구 도룡동 1

(2008년 6월 24일 받음, 2008년 7월 17일 수정본 받음, 2008년 7월 28일 게재 확정)

PDP(plasma display panel)를 비롯한 대형 디스플레이는 외부의 광이 디스플레이 내부로 입사될 경우 화질 및 명암이 저하된다. 이 문제를 해결하기 위해서 최근 관련 산업계에서는 1 m<sup>2</sup>급의 대형 투명필름 위에 수십~수백 μm 수준의 미세 패턴을 새겨서 외부 광을 차단하는 contrast 향상 필름을 개발 중이다. 이 필름이 디스플레이에 적용되려면 가장 중요한 것이 패턴의 균일도 및 이물 여부이다. 하지만 기존의 검사장비로는 1 m<sup>2</sup>급의 대형 광학 필름을 100 μm 수준의 분해능으로 짧은 시간 내에 측정할 수 없다. 본 연구에서는 이것이 가능한 검사장비를 제안, 구축하며 실험을 통해 평가한다.

주제어: Inspection, Contact image sensor

### I. 서 론

PDP(plasma display panel)를 비롯한 대형 디스플레이는 외부의 광이 디스플레이 내부로 입사될 경우 화질 및 명암에 큰 영향을 받는다. 이 효과를 차단, 혹은 감소시키기 위해서 국내의 산업계에서는 현재 다양한 연구가 진행 중이며, 그 가운데 하나로 contrast 향상 필름이 제안되었다. 이 필름은 포토리소그래피(photolithography)<sup>[1,2]</sup>에 기반을 둔 반도체 제조 공정을 응용해서, 금형을 쓰지 않고 UV(ultraviolet) 광에 반응하는 고분자 수지를 이용해서 성형한다. 이와 같은 방식으로 제작된 contrast 향상 필름은 수십~수백 μm 수준의 미세한 프리즘 구조를 이용해서 외부에서 입사하는 빛을 흡수, 혹은 차단하며, 그 결과 필름을 사용하지 않은 디스플레이에 비해서 contrast 비를 두 배 이상 향상시킬 수 있다. 이 때 contrast 향상 필름에서 고려해야 할 요소는 다음과 같다.

- a. 디스플레이에 삽입될 광학 필름의 경우, 전체 화면에서 균일한 광학적 특성(Contrast, 투과율, 반사율 등)을 유지해야 한다. 즉, 필름의 미세 패턴(이 경우 프리즘 구조물)이 필름 전 영역에 균일하게 분포되어야 한다.
- b. contrast 향상 필름의 미세 패턴은 삼각형, 사각형, 육각형, 원형 등의 모양으로 구현할 수 있으며, 각 형태에 따라 다양하고 특수한 광 특성이 부여된다.
- c. 위의 미세 패턴을 대량생산하기 위해서는 포토리소그래피 방식이 적합하며, 포토마스크(photomask)의 모양과 크기, 광(ultraviolet 광)의 조성, 노광 조건 등의 변수를 통해서 다양한 제어가 가능하다.

위에서 언급한 contrast 향상 필름을 제작할 때 가장 중요한 요소 가운데 하나가 바로 패턴의 균일도(uniformity)이다. 균일도가 떨어지는 필름은 디스플레이에 사용될 수 없으며

로, 필름의 생산 수율을 높이려면 필름의 미세구조가 얼마나 고르게 분포되어 있는지 여부를 빠르게 측정, 평가하는 검사장치가 필요하다. 또한 특정 크기 이상의 스크래치(scratch)나 먼지 등의 이물도 디스플레이의 성능을 저하시키므로 반드시 검출해야 한다. 하지만 이와 같은 검사과정에는 많은 어려움이 있다. 최근 PDP 등의 디스플레이 장치는 40인치, 50인치, 60인치를 넘어서 100인치 이상까지 대형화하는 추세이고, 이에 보조를 맞춰서 contrast 향상 필름도 최대 60인치 이상까지 개발해야 한다. 이렇게 커다란 필름 위에 노광된 미세한 프리즘 구조를 전수검사하기 위해서는, 1 m × 1 m 이상의 넓은 영역을 100 μm 수준의 분해능으로 10초 이내에 측정, 분석할 수 있는 검사장비가 필요하다. 본 연구에서는 최대 1.5 m × 1 m 크기의 필름을 127 μm × 50 μm의 분해능(resolution)으로 10초 이내에 검사하는 장치를 제안하고 구축한다.

### II. Contact image sensor

서론에서 기술한 바와 같이, contrast 향상 필름은 그림 1에서 보듯이 77 μm 너비의 미세 패턴을 갖는다. 필름 크기는 폭이 0.5~1.5 m에 이르며, 길이도 1미터 이상으로 유동적이다. 이렇게 넓은 면적의 필름을 10초 이내의 짧은 시간에 높은 정밀도로 검사하기 위해서 다수의 CCD(Charge coupled device)<sup>[3]</sup>를 사용할 수도 있으나, 이 경우 데이터의 양이 과도하게 많아지며(10 μm 분해능의 일반 CCD를 사용하는 경우 1 m × 1 m 영역을 전수검사 식으로 측정하려면 총 10<sup>10</sup>개의 데이터가 필요함. 필름 한 장당 약 10 Gb의 용량에 해당.), 각 CCD간의 좌표통일 등의 문제에 봉착하게 된다. 또한 고가의 CCD와 인터페이스(frame-grabber)가 필요하므로 장비 구축 비용이 높아질 수밖에 없다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해서, 본 연구에서는 가로

<sup>†</sup>E-mail: hrhee@kriss.re.kr

방향으로 1.5미터 길이에 127 μm 크기의 공간분해능을 가진 CMOS<sup>[4]</sup> 타입의 CIS(contact image sensor)<sup>[5]</sup>를 사용하였다. CIS의 분해능은 그림 1에 나타난 미세 패턴의 형상을 정밀하게 측정하기에는 부족하지만, 패턴이 제대로 노광되지 않고 빠진 부분을 검출하기에는 충분하다. 또한 고분자 수지의 성형 과정에서 발생할 수 있는 기포도 충분히 검출할 수 있다(기포의 경우, 주변 패턴보다 반사율이 높음). 더불어 subpixel 수준의 검출을 가능하게 해주는 특수한 영상처리기법<sup>[6-8]</sup>을 적용하면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다. 한편 주기적인 패턴 위에서 이물을 효율적으로 검출하려면, 영상의 각 라인을 FFT(fast Fourier transform)<sup>[9]</sup>해서 주기적인 패턴을 제거한 다음 영상을 처리할 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 subpixel 검출 기법과 FFT 분석을 동시에 적용했다. 표 1은 본 연구에서 사용한 CIS의 사양을 보여준다. 표 1에서 보듯이 CIS는 12,288개의 센서가 127 μm의 간격으로 일렬로 배치되어 있다. CIS의 구조 및 원리는 그림 2와 같다. 광원

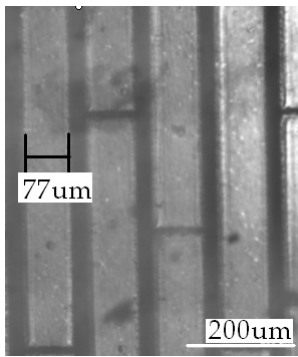


그림 1. Contrast 향상 필름의 패턴.

표 1. CIS(contact image sensor)의 사양

Sensor information	Specification
No. of pixels	12,288
Length of the sensor array	1,560 mm
Horizontal resolution	127 μm
Line rate	4 kHz
Power	137 W
Interface	Camera Link™ [10]

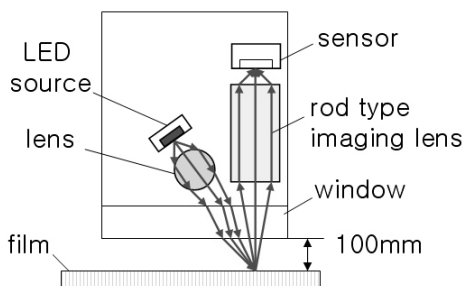


그림 2. CIS의 구성도.

(LED source)에서 출발한 빛이 필름에 조명되며, 센서는 막대형 이미징 렌즈를 통해서 필름의 영상을 읽는다. 이러한 CIS는 넓은 면적을 높은 분해능으로 빠르게 측정할 수 있지만, contrast 향상 필름의 검사에 바로 적용하기에는 여전히 문제점이 남아있다. 그림 2와 그림 3(a)에 나타난 기존의 CIS 측정방식은 필름으로부터 반사된 빛을 이용해서 측정하는데, 이 경우 스크래치를 비롯한 밝은 이물은 용이하게 검출할 수 있지만, 어두운 이물은 반사율이 떨어져서 검출이 어렵다(표 2 참조). 또한 Contrast 향상 필름과 같이 필름 자체가 검은색 계통일 경우, 더욱욱 검출이 쉽지 않다. 표 2의 ΔI는 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta I = I_{\text{defect}} - I_{\text{film}} \quad (1)$$

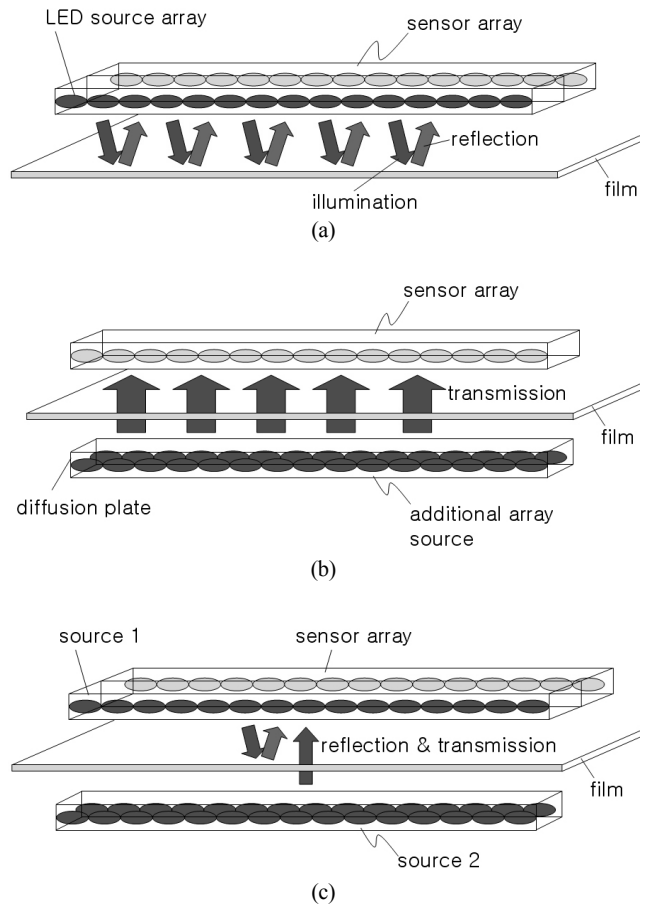


그림 3. (a) 반사형 측정방식, (b) 투과형 측정방식, (c) 복합형 측정방식

표 2. 투과식과 반사식의 결합 성능 비교(10회 측정 후 평균한 결과임)

	검은 이물	스크래치
투과식 측정	$ \Delta I  = 105$	$ \Delta I  = 21$
반사식 측정	$ \Delta I  = 9$	$ \Delta I  = 58$
복합식 측정	$ \Delta I  = 99$	$ \Delta I  = 56$

식 (1)에서  $I_{\text{defect}}$ 는 결함 부분에서 측정된 광량이고(광량은 0~255 사이의 값),  $I_{\text{film}}$ 은 결함이 없는 필름 부분에서 측정된 광량의 평균값이다. 이  $\Delta I$ 의 절대값인  $|\Delta I|$ 가 클수록 필름과 결함의 구분이 뚜렷하다는 뜻이고, 결과적으로 보다 용이하게 결함을 검출할 수 있다. 하지만 반사식 측정의 경우, 표 2에서 보듯이 검은 이물로부터 측정된  $|\Delta I|$ 가 noise의 영향을 받을 정도로 작은 것을 알 수 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 본 연구에서는 그림 3(b)와 같이 CIS 반대편에 추가 광원열(additional array source)을 덧붙였다. 이 때 추가 광원열이 필름을 고르게 조명해야 하므로, 광원열 위에 확산판(diffusion plate)를 두었으며, 충분한 광량을 확보하기 위해서 광원열을 2중으로 설치하였다. 추가 광원열에 사용된 LED의 개수는 총 408개이다. 이상과 같이 추가 광원열을 이용해서 투과식으로 측정할 경우, 검은색 패턴의 측정이 용이할 뿐더러, 어두운 이물의 검출에도 적합하다. 대신 투과식으로는 밝은 이물을 검출하기는 어렵다(표 2 참조).

따라서 본 연구에서는 그림 3(c)와 같이 반사식과 투과식을 복합한 새로운 방법을 제안한다. 이 방식은 표 2에서 보듯이 밝은 결함(스크래치 등)과 어두운 결함 부분에서 측정

된 광량이 결함이 없는 곳에서 측정된 광량과 뚜렷한 차이를 보이므로, 용이한 결함검출이 가능하다. 그림 4는 기존 CIS로 측정한 영상과 본 연구에서 제안하는 복합 방식을 적용한 영상을 비교한 결과이다. 그림 4에서 왼쪽 원은 투명 필름 위에 칼로 스크래치를 만든 것이고, 오른쪽 원은 투명 필름 위에 검은색 사인펜으로 그린 것이다. 반사식 측정은 그림 4(a)처럼 스크래치 원은 측정할 수 있지만 사인펜으로 그린 원은 거의 측정하지 못한다. 반면 투과식은 그림 4(b)처럼 스크래치를 거의 측정하지 못한다. 마지막으로 본 연구에서 제안하는 복합식은 그림 4(c)와 같이 두 가지 원 모두를 잘 측정할 수 있다.

### III. Contrast 향상 필름 검사장치의 구축 및 평가

일반적으로, 디스플레이에 사용되는 광학필름은 생산 라인에 설치된 롤러(roller)에 의해서 이송되며, 이송 도중에 패턴의 노광, 각종 화학적 처리, 검사 및 분석 등의 작업이 수행된다. 본 연구에서 개발한 검사장치도 그림 5와 같이 현장 설치가 용이하도록 롤러 위에 장착하는 형태로 제작했다. 이 검사장치는 필름이 일정 속도로 이송되는 도중에 필름 표면의 영상을 실시간으로 측정한다. 다음, 이송을 멈추는 스톱시간(다음 필름의 노광을 위해서 노광을 멈추는 시간) 동안 측정결과를 분석해서 컴퓨터 화면에 표시하도록 구성했다. 그림 5에서 contrast 향상 필름은 롤러를 타고 한 방향(x 방향)으로 이송되며, 그 중간에 CIS 센서 모듈이 필름의 미세 패턴 및 이물의 유무를 실시간으로 측정한다. 그림 6은 본 연구에서 개발한 검사장치의 사진이다. 사진에서 보듯이 CIS 양쪽에 롤러를 이용해서 측정대상인 필름을 팽팽하게 편 다음, 롤러를 이용해서 필름을 최대 200 mm/s의 속도로 이송하면서 측정할 수 있도록 장치가 구성되었다. 이 검사장치의 y방향 측정분해능은 센서의 픽셀 크기인 127  $\mu\text{m}$ 이며, x방향의 분해능은 최대 4 kHz까지 가능하다. 만약 필름을 200 mm/s의 속도로 이송하면서 측정하면 x방향의 분해능 50  $\mu\text{m}$ 를 얻을 수 있다(5초 동안 1 m 길이의 필름을 이송하면서 측정된 뒤, 5초의 스톱시간 동안 분석).

그림 7은 필름 검사장치의 구동 및 측정결과 분석을 위해 작성한 프로그램이다. CIS로부터 측정된 라인(line) 영상

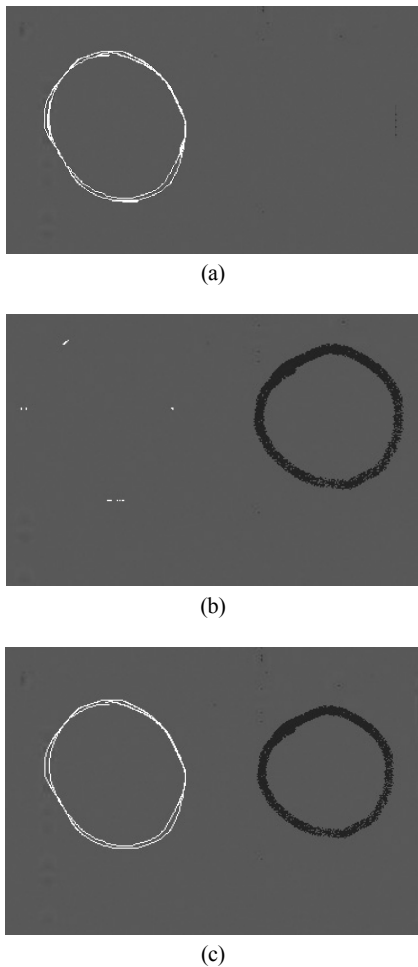


그림 4. (a) 반사형 방식의 측정결과, (b) 투과형 방식의 측정결과, (c) 복합형 방식의 측정결과.

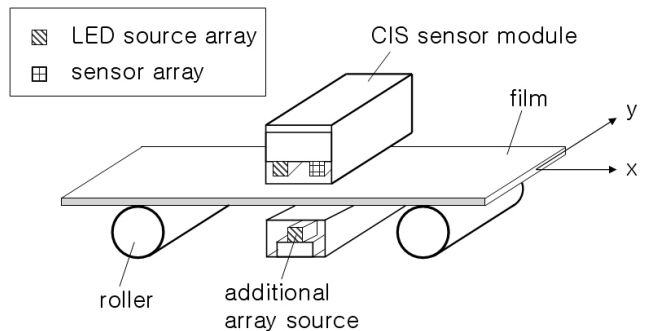


그림 5. 측정시스템 개념도.

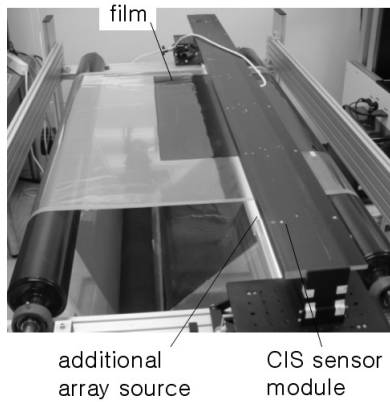
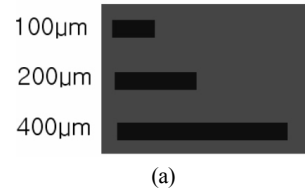
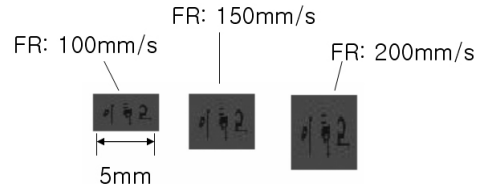


그림 6. 측정시스템 사진.



(a)



(b)

\*FR: feed rate of the film

그림 8. (a) 측정시스템의 분해능 실험 (b) 속도변화에 따른 실험 결과.

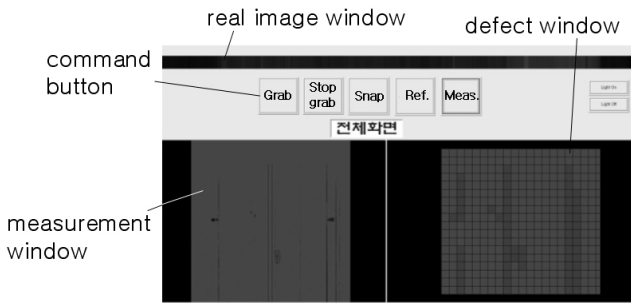


그림 7. 구동 소프트웨어.

은 그림 7의 real image window에 실시간으로 보여지며, 필름 한 장 전체를 스캔(scan)해서 측정된 뒤에는 그 결과가 자동으로 measurement window에 표시된다. 사용자는 이 measurement window를 통해서 필름의 균일도를 확인할 수 있다. 그림 7의 measurement window에 나타난 붉은색은 의도적으로 기포를 넣거나 유리테이프를 붙여서 광량을 증가시킨 부분이며, 파란색은 검은 사인펜으로 표시해서 광량을 줄인 부분이다. 두 가지 모두 잘 측정됨을 알 수 있다. 한편 defect window에는 기포를 포함한 각종 결함(defect)과 이물이 블록별로 표시되며(사용자가 검출을 원하는 이물 크기를 입력하면, 그 이물 크기보다 사이즈가 큰 이물만 찾아서 필름의 위치 별로 표시함.), 이 결과를 이용해서 필름의 양/불을 평가할 수 있다. 또한 이상의 운용 프로그램은 전체 생산 라인과 직렬통신(serial communication)을 통해서 정보를 주고받을 수 있도록 구축되었다.

그림 8(a)는 위의 필름 검사장치로 세 가지 크기의 패턴을 측정한 결과이다(투명 필름 위에 구조물 형성 후 측정). 100 µm 크기의 미세 패턴도 주변 투명 필름과 잘 구분되는 것을 알 수 있다. 그림 8(b)는 필름의 이송 속도를 바꿔가면서 측정한 결과를 보여준다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 CIS를 이용해서 contrast 향상 필름을 평가

할 수 있는 새로운 검사장치를 제안하고 직접 구축, 평가했다. 이 검사장치는 최대 1.5 m × 1 m 크기의 광학 필름을 127 µm × 50 µm의 분해능으로 10초 내에 측정할 수 있으며, 현장 설치가 용이하도록 구성되었다. 자체 제작한 운용 프로그램을 통해 contrast 향상 필름의 평가를 자동으로 수행할 수 있으며, 필름 생산 라인과 직렬통신으로 정보를 주고받을 수 있다. 실험 결과, 이 검사장치로 100 µm 수준의 결함이나 미세한 이물까지 잘 측정함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] H. P. Urbach and D. A. Bernard, "Modeling latent-image formation in photolithography, using the Helmholtz equation," *J. Opt. Soc. Am. A*, 6, pp. 1343-1356, 1989.
- [2] J. P. Auton, "Infrared transmission polarizers by photolithography," *Appl. Opt.*, 6, pp. 1023-1027, 1967.
- [3] W. Lee, "Signal processing techniques for CCD image sensor," *Appl. Opt.*, 20, pp. 4280-4284, 1984.
- [4] E. R. Fossum, "CMOS Image Sensors: Electronic Camera-On-A-Chip," *IEEE Trans. Electron. Devices*, 44, pp. 1689-1698, 1997.
- [5] www.tichawa.de
- [6] J. P. Oakley and R. T. Shann, "Efficient method for finding the position of object boundaries to sub-pixel precision," *Image & Vision Computing*, 9, pp. 262-272, 1991.
- [7] K. Jensen and D. Anastassiou, "Subpixel edge localization and the interpolation of still images," *IEEE Trans. Image Processing*, 4, pp. 285-294, 1995.
- [8] J. Kim and B. H. Lee, "Murine Heart Wall Imaging with Optical Coherence Tomography," *J. Opt. Soc. Kor.*, 10, pp. 42-47, 2006.
- [9] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier optics* (McGraw-Hill, Singapore, 1996), Chap. 6, pp. 126-165.
- [10] www.ni.com

## Inspection System for Tracing Defects of Optical Film Using Contact Image Sensor

Hyug-Gyo Rhee<sup>†</sup>, Byeong-Hyug Jeon, Hoi-Yun Lee, and Yun Woo Lee

*Korea Research Institute of Standards and Science, Space optics research center, 1 Doryong-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-340, Korea*

<sup>†</sup>*E-mail: hrhee@kriss.re.kr*

(Received June 24, 2008; Revised manuscript July 17, 2008; Accepted July 28, 2008)

The light from the exterior considerably deteriorates the performance of displays including PDP (plasma display panel). Thus semi-conductor industries have developed a special optical film that can block or absorb the exterior light. In this paper, we propose a new inspection system for tracing the defects of the film. Our system is able to inspect a  $1.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  area for 10 sec with  $127 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$  spatial resolution.

OCIS codes: (120.4630) Optical inspection; (120.4640) Optical instruments; (120.0120) Instrumentation, measurement, and metrology.