

패턴 빔을 이용한 BGA 단차 측정

신상훈

AP & Tec

☎ 135-539 AP & Tec, 서울 강남구 수서동

유영훈[†]

제주대학교 물리학과

☎ 690-756 제주시 아라1동 1번지

(2009년 9월 15일 받음, 2009년 11월 4일 수정본 받음, 2009년 11월 5일 게재 확정)

본 연구에서는 패턴 빔을 이용하여 표면이 거친 물체의 단차를 비접촉 방식으로 측정 하는 방법에 대하여 연구하였다. 본 연구에 사용된 방법은 장치가 매우 간단하고 스펙클 노이즈가 영상에 미치는 영향이 작아 재현성 면에서 매우 우수하였다. 특히 기준면에 문양이 없는 경우에는 기존의 자동 초점 측정 장치로는 측정하기 어려우나, 본 연구 방법에 의해 측정이 가능함을 보였다. 그리고 측정 시간이 매우 짧고 재현성이 좋으며 장치가 간단하여 산업 현장에서 응용하기 적절한 방법이다.

BGA Height Measurement Using Pattern Beam

Sanghoon Shin

AP & Tec, Suseog-dong, Gangnam-gu, Seoul 135-539, Korea

Younghun Yu[†]

Department of Physics, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

[†]E-mail: yyhyoung@cheju.ac.kr

(Received September 15, 2009; Revised manuscript November 4, 2009; Accepted November 5, 2009)

We describe a simple method to obtain an optical sectioning in a conventional wide-field microscope by projecting a single spatial frequency grid pattern onto the object. Using a patterned beam, we have measured the height of BGA with a rough surface that provide the coherence noise. The configuration of the height measurement system using pattern beam is simple. The image acquired by this system is not depend on the coherence noises. This system is also applicable to the sample reference plan that has no pattern on ground. The reappearance and accuracy are outstanding and applicable to many industrial optical metrology.

Keywords: Autofocus, Height measurement, Structured beam, BGA

OCIS codes: (230.0230) Optical devices; (170.0110) Imaging systems; (150.3045) Industrial optical metrology

I. 서 론

비접촉 3차원 측정기술은 과학계와 산업계에서 매우 필요하다. 비접촉 3차원 측정 기술은 많이 연구 되어있으며, 각각 장단점이 있다. 비접촉 3차원 측정 방식 중 현재 가장 많이 사용되고 있는 방법은 빛을 이용하는 방법이다. 빛을 이용한 비접촉 3차원 측정 방식중 대표적인 것이 레이저 스캔

법, 공초점법, 백색광 간섭법, 위상이동 간섭법, 홀로그래피 방법등이 있다.^[1-7] 레이저 스캔 방식은 삼각법을 이용하여 측정하는 방식으로 현재 산업 현장에서 가장 많이 사용되는 방법 중 하나이나, 실제 검사 환경에서 측정의 재현성과 정확성이 떨어지는 단점이 있다. 그리고 공초점 방식은 재현성 및 측정 정확성은 매우 우수하나 측정 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 또한 간섭을 이용하는 방식들, 백색광 간섭법, 홀로그래피 및 위상 이동 간섭법 등은 외부 진동의 영향을 많이 받아 현장에서 사용하기 어려운 단점이 있다.

[†]E-mail: yyhyoung@cheju.ac.kr

또한 시료의 거칠기가 3차원 측정에 영향을 준다. 즉 간섭을 이용하는 방식이나, 광원으로 가간섭 길이가 긴 광원을 사용하는 경우에는 스펙클 현상이 영상에 잡음과 같은 역할을 하여 좋은 영상을 얻을 수 없고, 3차원 측정에 영향을 준다.^[8-10]

현재 3차원 측정기가 많이 사용되는 분야 중 하나는 반도체 칩 패키지에 사용되는 BGA (Ball Grid Array)의 3차원 측정이다. BGA 는 반도체 칩 패키지에 많이 사용되고 있으며 표면이 매끈하지 않다. 또한 반도체 패키지에서 BGA 의 3차원 모양 자체도 영향을 주지만 BGA 자체의 높이가 반도체 패키지에 결정적인 영향을 준다. 즉 볼의 높이가 균일하지 않으면 볼의 높이가 낮은 볼들은 접촉이 제대로 안될 가능성이 매우 높기 때문이다. 하지만 일반적인 2차원 영상검사는 BGA의 크기만을 측정할 수 있기 때문에 정확한 BGA의 높이를 측정하기 위해서는 3차원 측정기술이 요구된다. 또한 3차원 측정기술중에서 볼에 손상이 없는 비접촉 3차원 측정기술이 요구된다. 그리고 이러한 분야에서는 3차원 측정 자체보다는 회로판 바닥에서 BGA 의 가장 윗면의 높이를 신뢰성 있게 빨리 측정하는 기술이 요구된다. 이러한 목적으로 현재 많이 사용되는 방법은 자동초점 방식이다.^[11-13] 자동초점 방식은 렌즈의 초점심도(DOF:depth of focus)를 이용하는 방식으로 시료의 높이를 바꾸어 가며 영상을 측정하여 영상의 명암대비가 가장 좋은 두지점을 선택해 높이를 측정하는 방식이다. 그러나 이 방식은 바닥면에 문양이 있는 경우에만 사용이 가능하다는 단점이 있다.

본 연구는 측정 대상체의 최상위 높이 값과 최하위 높이 값의 차를 검출하는 장치에 대한 것이다. 광원은 스펙클 잡음을 최소화하기 위하여 가간섭성이 거의 없는 LED를 사용하였고, 패턴빔을 사용하여 측정 시료의 높이차 값의 측정 정밀도 및 재현성을 높일 수 있는 방법에 대하여 연구 하였으며, 바닥면에 문양의 유무에 상관없이 높이를 측정 할 수 있는 방법에 대하여 연구하였다.

II. 이론적 배경

그림 1과 같이 백색광을 문양 마스크(S) 조사하여, 두 개의 렌즈를 이용하여 영상이 형성되는 영상 장치를 고려하자. 이 때 영상면에 형성되는 빛의 세기는 식 (1)과 같다.^[14]

$$I(t,w) = \iint S(t_0,w_0)h_1(t_0+t_1,w_0+w_1) \times h_2(t_1+t_2,w_1+w_2)dw_1dt_1^2dt_0dw_0 \quad (1)$$

식 (1)에서 S는 시료이고, h_1, h_2 는 렌즈 L_1, L_2 의 point-spread 함수이다. 그리고 좌표 (t,w) 는 실공간에서 광축에 수직한 평면좌표 (x,y) 에 대응하는 좌표로, $(t,w) = (2\pi/\lambda)(x,y)nsin\alpha$ 와 같이 주어지고 $nsin\alpha$ 는 렌즈의 개구수 (NA:Numerical Aperture), λ 는 광원의 파장, α 는 렌즈에 입사하는 빛의 최대 입사 각도이다.

식 (1)과 같은 영상구현 계에서 해상도와 초점심도 (DOF:depth of focus)는 식 (2)와 같이 주어진다.

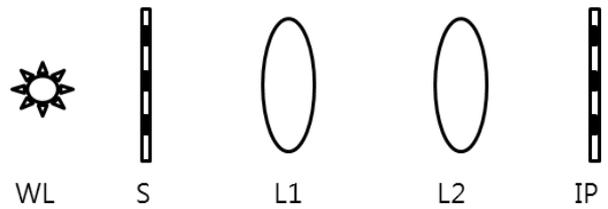


FIG. 1. System for imaging. WL; Light source, S: Object, L1,L2: lens, IP: im.

$$\begin{aligned} Resolution &= \lambda/NA \\ DOF &= \lambda/(2NA^2) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 초점심도는 문양이 없는 경우이다. 즉 렌즈 자체의 초점심도이다. 영상 구현 계에서 문양이 있는 경우에는 초점 심도가 식 (3)과 같다.^[15,16]

$$DOF = k_2\lambda/NA^2 \quad (3)$$

식 (3)에서 k_2 는 실험적으로 얻어지는 값이며 문양의 크기와 관계있다. 일반적으로 광학계의 회절 한계 보다 큰 문양인 경우는 식 (3)보다는 식 (2)에 의해 광학계의 DOF 가 결정되나, 문양의 크기가 회절한계 근처에 가면 MTF (Modulation Transfer Function) 값이 급격히 감소하고, DOF 값은 광학계의 광학상수(초점, 렌즈의 구경 등)외에 k_2 값에 의해 결정된다. 패턴 빔의 크기에 따른 광축 방향(z)의 빛 세기 변화는 식 (4)와 같다.^[17]

$$I(u) \sim \left| \frac{J_1[2u\tilde{v}(1-\tilde{v}/2)]}{2u\tilde{v}(1-\tilde{v}/2)} \right| \quad (4)$$

식 (4)에서 $u = 8(\pi/\lambda)z\sin^2(\alpha/2)$, $\tilde{v} = M\lambda v/NA$ 이고, v 는 패턴의 공간주파수, M은 배율, J_1 은 베셀함수이다. 식 (4)에서 보는 것과 같이 패턴의 공간 주파수 v 에 따라 $I(u)$ 의 선평이 변화됨을 알 수 있으며, 그림 1과 같은 계에서 문양 마스크(S)의 문양 크기를 조절함으로써, 즉 공간 주파수를 변화시킴으로써 영상이 형성되는 범위, 즉 DOF를 조절할 수 있다.

III. 실험결과

본 연구의 실험 장치는 그림 2와 같다.

조명광과 렌즈 L3와 L1을 이용하여 시료에 문양마스크(M)의 문양이 형성되게 한다. 광원은 스펙클 노이즈를 최소화하기 위하여 백색광을 이용하였다. 시료에 형성된 상은 렌즈 L1과 L2 및 CCD (Charge Coupled Device)를 이용하여 측정한다. 이송장치 SM 을 조절하여 정확한 문양 마스크의 상이 시료위에 형성되도록 한다. 정확한 상이 형성되는 구간 Δz (depth of focus) 는 렌즈 L3,L1 및 문양 마스크(M)의 문양

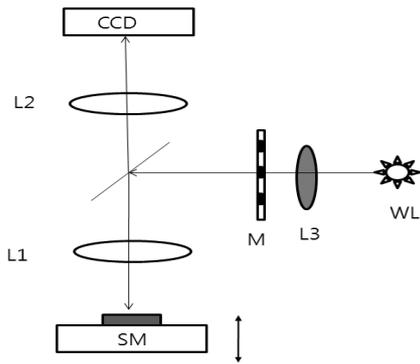


FIG. 2. Schematic autofocus experiment set-up using pattern beam. WL: LED, L1,L2,L3: lens, M: patterned mask, SM: translator.

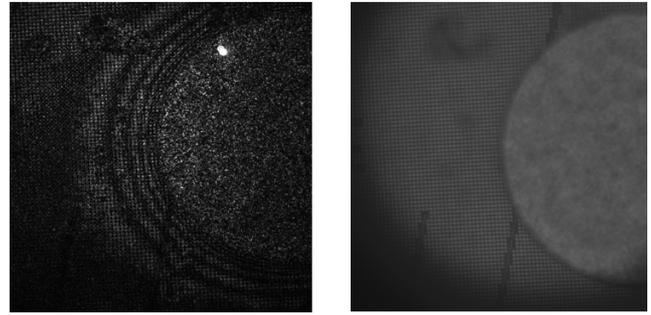


FIG. 3. Speckle effect. (a) BGA image using He-Ne laser, (b) BGA image using LED.

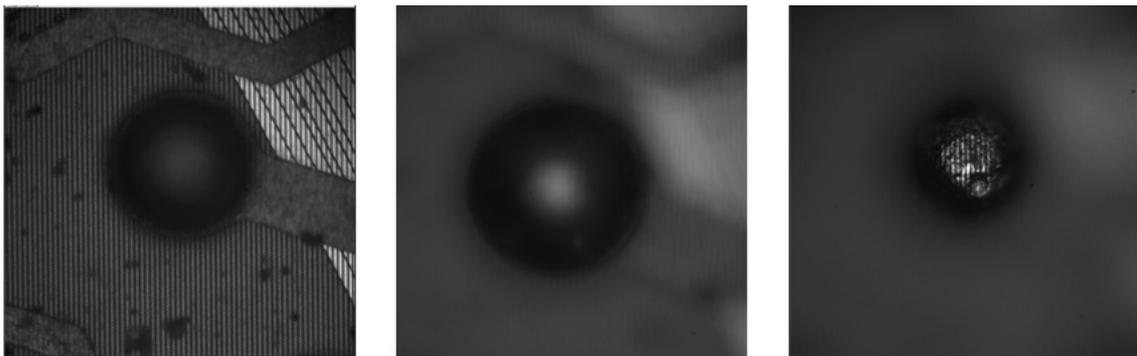


FIG. 4. BGA image with pattern beam. (a) focused image at bottom (b) focused image at middle (c) focused image at top.

주기에 의해서 정해진다. 실험에 사용된 렌즈 L1,L2,L3 의 초점거리는 10 mm, 200 mm, 100 mm 이고, 문양 마스크는 20 lp/mm 의 론치 롤러형이다. 시료는 지름이 100 μm 인 BGA 를 이용하였다. 시료를 광축 방향으로 이송하기 위하여 스텝핑모터를 이용한 이송장치를 사용하였다.

스펙클 효과를 보기 위하여 백색광과 레이저를 이용하여 상을 관찰한 결과가 그림 3과 같다.

그림 3(a) 레이저를 이용하여 얻은 영상이고, (b)는 백색광을 이용하여 얻은 영상이다. 그림 3(a) 에서 보는 것과 같이 레이저를 이용하여 얻은 영상은 스펙클 영향으로 잡음이 매우 많다. 이와 같이 스펙클이 잡음과 같아 가간섭 길이가 큰 레이저를 이용해서는 표면이 거친 시료에 대해서는 좋은 영상을 얻을 수 없고 위상 정보도 잡음에 영향을 받아 정확한 위상 정보를 얻을 수 없다. 이와 같이 표면이 거친 시료의 3차원 정보를 얻기 위해서는 스펙클을 제거 할 수 있는 방법을 도입하거나, 가간섭 길이가 매우 짧은 광원을 이용하는 방법을 도입하여야 한다.

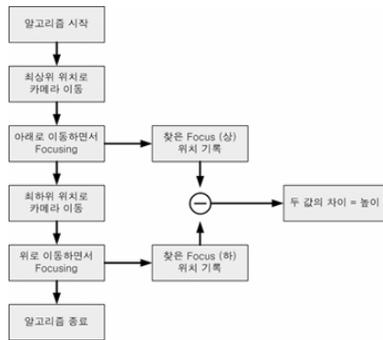
그림 4 는 백색광원과 마스크 문양을 이용하여, 즉 패턴 빔을 이용하여 얻은 BGA 의 영상이다.

그림 4(a)는 바닥면에 렌즈의 초점이 맺은 경우이고 (c) 는 BGA 위면에 초점이 맺은 경우이다. BGA 전체의 모양이 형성되지 않는 이유는 렌즈의 초점심도(DOF)가 BGA 의 지름보다 작기 때문이다.

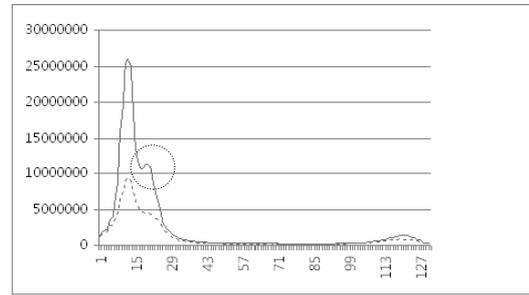
이와 같이 렌즈의 DOF 와 문양 빔을 이용하여 그림 5(a)

과 같은 알고리즘을 이용하여 표면이 거친 BGA 의 단차를 측정하였다.

그림 5(a)는 일반적으로 많이 사용되는 자동초점(auto-focus) 장치의 높이 측정 과정과 유사하다. 초점심도가 작은 고배율 렌즈를 이용하여 영상이 가장 잘 형성되는 구간을 측정하여 높이를 측정하는 방식이다. 광축 방향으로 이송장치를 이용하여 시료를 광축 방향으로 이송하면서 촬영 된 이미지의 명암대비를 계산하여 명암대비가 가장 높은 두 지점의 높이차를 계산하는 방식이다. 그림 5(b)의 점선은 현재 많이 사용되고 있는 자동초점(auto-focus) 장치를 이용하여 측정 한 것이고, 그림 5(b)의 실선은 본 연구 방법을 이용하여 측정한 것이다. 그림 5(b)의 수평축은 이송장치의 이송거리이고, 수직축은 영상의 명암 비이다. 명암비의 크기가 최대가 되는 구간 간격이 시료의 높이에 해당된다. 측정결과 시료의 높이 값은 문양빔을 사용하지 않는 경우와 사용한 경우 각각 $108 \pm 1 \mu\text{m}$, $109 \pm 1 \mu\text{m}$ 로 두 방법 유사한 결과를 보임을 알 수 있다. 위 측정값은 반복 실험에 의해서 얻어진 결과이다. 그러나 그림 5에서 볼 수 있듯이 영상의 명암비의 크기(그림 5(b)의 수직축 값)가 문양빔을 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우에 비해 약 2.5배 이상 차이는 것을 알 수 있다. 따라서 문양빔을 사용하는 경우에 좀 더 정확한 위치 값을 찾아 낼 수 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 5(b)에서 원형 점선부분을 보면 이 부분에 다른 단차가 있음을 추측할 수 있다. 즉 회로기판에서 금속박이 있는 부분과 금속박이 없는 부분이 구분된 것이다. 이러한 단차는



(a) measurement process

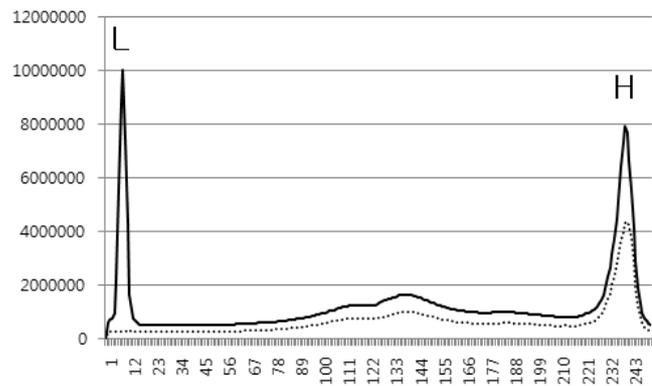


(b) measurement results

FIG. 5. Measurement process and experimental result.



(a) BGA image with pattern beam



(b) measurement results.

FIG. 6. Measurement results when there is no bottom pattern.

일반 자동초점 방식(그림 5(b)의 점선)으로는 측정 되지 못한 부분으로, 문양 빔에 의해 DOF 가 작아져서 생긴 결과이다.

그러나 자동초점 장치는 문양이 있는 경우에 적용할 수 있는 방법으로 바닥 면에 문양이 없는 경우에는 적용할 수 없다. 이를 위하여 바닥에 문양이 없는 경우에 대하여 실험한 것이 그림 6과 같다.

그림 6(a)는 시료가 지름 476 μm BGA인 바닥에 문양이 없는 경우 패턴 빔을 조사하여 얻은 영상이고, (b) 는 이송장치를 이동하면서 얻은 영상의 명암 비이다. 그림 6(b) 의 점선은 기존의 자동초점 장치를 이용하여 얻은 결과이고, 실선은 본 연구 방법으로 얻은 결과이다. 그림 6(b) 실험 결과와 같이 바닥에 문양이 없는 경우 기존의 자동 초점방법, 즉 패턴 빔을 이용하지 않는 방법으로는 패턴이 있는 부분(H)은 측정되나, 패턴이 없는 부분(L)은 감지를 못하여 높이를 측정 할 수 없다. 그러나 본 연구 방법을 사용한 경우에는 패턴 유무와 관계없이 높이가 잘 측정됨을 확인 할 수 있다. 즉 패턴 조명을 이용하면, 바닥 문양에 상관없이 단차를 측정 할 수 있음을 알 수 있다. 위 실험결과 BGA의 높이는 $476 \pm 1 \mu\text{m}$ 로 측정되었다, 그리고 반복 실험에 의한 측정값의 재현성도 매우 우수하였으며 측정 시간은 시료 당 2초 미만이었다.

또한 본 연구의 장점은 식 (3)에서 보는 것과 같이 렌즈의

초점거리 변화와 문양의 패턴 크기에 의해 초점심도를 변화시킬 수 있으므로 시료의 크기 및 요구에 따라 이송 장치의 이송구간 간격을 변화시킬 수 있으므로 빠른 측정도 가능하다.

IV. 결 론

본 연구에서는 표면이 거친 시료의 단차 혹은 높이를 측정하는 방법에 대하여 연구하였다. 일반적으로 표면이 거친 시료의 경우 스펙클 현상 때문에 가간섭성이 큰 광원, 즉 레이저를 이용하여 영상을 얻기 어렵다. 가간섭성이 큰 레이저를 이용하지 못하기 때문에 위상 정보를 얻기가 어렵기 때문에 위상 측정에 의한 단차를 측정하는 방법을 사용할 수 없고, 이송 장치를 이용하여 시료 높이 방향으로 주사하면서 높이를 측정하는 방법이 많이 사용된다. 표면이 거친 시료의 높이를 측정하는 방법 중 현재 많이 사용되는 것은 자동초점방식이다. 이 방법은 시료의 영상을 측정하여 명암비를 측정하는 방식으로 측정 시료에 문양이 있어야만 측정 할 수 있다는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 일반 조명빔 대신 문양이 있는 조명빔을 이용하여 거친 시료의 단차를 측정하는 방법에 대하여 연구하였다. 실험 결과 바닥에 문양이 있는 경우 현재 많이 사용되는 자동초점

방식과 동일한 결과를 얻을 수 있었으며, 자동초점방식으로 측정 할 수 없는 바닥에 문양이 없는 경우에도 본 연구에서 제안한 문양빔을 이용한 경우에는 측정 할 수 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부 차세대신기술개발사업 지원으로 수행되었습니다.

References

1. T. Dresel, G. Hausler, and H. Venzke, "Three-dimensional sensing of rough surfaces by coherence radar," *Appl. Opt.* **31**, 919-925 (1992).
2. S. Brinkmann, T. Dresel, R. Schreiner, and J. Schwider, "Testing of rod objects by grazing-incidence interferometry: experiment," *Appl. Opt.* **38**, 121-125 (1999).
3. T. Zhang and I. Yamaguchi, "Three-dimensional microscopy with phase-shifting digital holography," *Opt. Lett.* **23**, 1221-1223 (1998).
4. I. Yamaguchi, J. I. Kato, S. Otha, and J. Mizuno, "Image formation in phase-shifting digital holography and applications to microscopy," *Appl. Opt.* **40**, 6177-6186 (2001).
5. T. Wilson, *Confocal Microscopy* (Academic Press, London, UK, 1990).
6. S. Zhang and P. Huang, "High-resolution, real-time 3-D shape measurement," *Opt. Eng.* **45**, 123601-123607 (2006).
7. S. Kumar, D. Snyder, D. Duncan, J. Cohen, and J. Cooper, "Digital preservation of ancient cuneiform tablets using 3D-scanning," in *Proc. Fourth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling* (Banff, Alberta, Canada, 2003) pp. 326-333.
8. P. Hariharan and Z. S. Hegedus, "Reduction of speckle in coherent imaging by spatial frequency sampling," *Opt. Acta.* **21**, 345-356 (1974).
9. N. Bertaux, Y. Frauel, P. Refregier, and B. Javidi, "Speckle removal using a maximum likelihood technique with isoline gray-level regularization," *J. Opt. Soc. Am. A* **21**, 2283-2291 (2004).
10. S. P. Kelly, J. E. Ward, U. Gopinathan, and J. T. Sheridan, "Controlling speckle using lenses and free space," *Opt. Lett.* **32**, 3394-3396 (2007).
11. L. Firestone, K. Cook, K. Gulp, N. Talsania, and K. Preston, "Comparison of autofocus methods for automated microscopy," *Cytometry* **12**, 195-206 (1991).
12. X. Y. Liu, W. H. Wang, and Y. Sun, "Dynamic evaluation of autofocusing for automated microscopic analysis of blood smear and pap smear," *J. Microsc.* **227**, 15-23 (2007).
13. Y. Liron, Y. Paran, G. Zatorsky, B. Geiger, and Z. Kam, "Laser autofocusing for high-resolution cell biological imaging," *J. Microsc.* **221**, 145-151 (2006).
14. M. A. A. Neil, R. Juskaitis, and T. Wilson, "Method of obtaining optical sectioning by using structured light in a conventional microscope," *Opt. Lett.* **22**, 1905-1907 (1997).
15. J. N. Helbert, *Handbook of VLSI Microlithography: Principles, Technology, and Applications* (Noyes Press, NY, USA, 2001), Chapter 5.
16. J. R. Sheats and B. W. Smith, *Microlithography: Science and Technology* (CRC press, NY, USA, 1998), Chapter 3.
17. M. A. A. Neil, R. Juskaitis, and T. Wilson, "Method of obtaining optical sectioning by using structured light in a conventional microscope," *Opt. Lett.* **22**, 1905-1907 (1997).