

Single-step 전자빔 묘화 장치를 이용한 Focusing Grating Coupler 제작 연구

Fabrication technology of the focusing grating coupler using single-step electron beam lithography

김태엽*, 김약연*, 손영준*, 한기평*, 백문철*, 김해성**, 신동훈**, 이진구**

(Tae-Youb Kim*, Yark-Yeon Kim*, Yeung-Joon Sohn*, Gee-Pyeong Han*, Mun-Cheol Paek*, Hae-Sung Kim**, Dong-Hoon Shin**, and Jin-Koo Rhee**)

Abstract

A focusing grating coupler (FGC) was not fabricated by the 'Continuous Path Control' writing strategy but by an electron-beam lithography system of more general exposure mode, which matches not only the address grid with the grating period but also an integer multiple of the address grid resolution (5 nm). To more simplify the fabrication, we are able to reduce a process step without large decrease of pattern quality by excluding a conducting material or layer such as metal (Al, Cr, Au), which are deposited on top or bottom of an e-beam resist to prevent charge build-up during e-beam exposure. A grating pitch period and an aperture feature size of the FGC designed and fabricated by e-beam lithography and reactive ion etching were ranged over 384.3 nm to 448.2 nm, and 0.5 x 0.5 mm² area, respectively. This fabrication method presented will reduce processing time and improve the grating quality by means of a consideration of the address grid resolution, grating direction, pitch size and shapes when exposing. Here our investigations concentrate on the design and efficient fabrication results of the FGC for coupling from slab waveguide to a spot in free space.

Key Words : Focusing grating coupler(FGC), Electron-beam lithography, Si₃N₄, Dry etching

1. 서 론¹⁾

Focusing grating coupler (FGC)는 도파관을 통한 특정 주파수 대역의 빔을 결합시키거나 분배시킬 수 있는 능력 때문에 LD나 광섬유 결합기 (fiber coupler), 직접화 시킨 광디스크 기록소자 (integrated optic disk pickup device)와 같은 다양한 광 정보저장 응용에 적용되어 왔으며, 그 잠재

력을 인정 받고 있다 [1], [2]. 매우 미세한 grating의 선폭을 조절하는 문제와 우수한 선 구조물 뿐만 아니라 선과 선폭을 구현하고자 하는 비율로 양질의 grating 구조물을 얻는 문제는 빔의 조절, 조정, 다중분배 그리고 광디스크 정보기록 응용의 특성을 갖는 미세 광 소자들을 제작하는데 가장 중요한 기술이 바로 석판인쇄기술 (lithographic technology)이다 [3], [4]. 복잡한 파면 (wave-front)의 변환을 가장 먼저 grating coupler에 접목시킨 노력은 도파관 홀로그램이었다 [4], [5]. 그러한 이미지(상)는 간섭에 의하여 기록되고, 유도된 빔(파동)에 의하여 이루어졌다. FGC는 처음에 홀로그램 기술에 의하여 제작되었다. 그러나

* : 한국전자통신연구원 정보저장소자팀
(대전시 유성구 가정동 161번지, 305-600)
Fax: 042-860-5202
E-mail : gphan@etri.re.kr
** : 동국대학교 MINT 센터

그들은 빔의 결함과 공정 사이에서 파장차이(wave difference) 때문에 큰 수차가 나타내었다 [6]. 바로 전자빔 writing은 이런 수차가 없는 FGC를 구현하고자 하는 선과 선폭의 비율로 양질의 grating 구조물 제작을 가능케 했다 [7]. Grating coupler 공정의 정밀도는 노광시 전자빔 묘화 장비의 특성과 많은 관련이 있다. 대체로 패턴간의 간격 (pitch)과 곡률의 변화는 다각형 (polygonal) 또는 소용돌이 (spiral) 패턴과 같은 곡선 모양의 grating을 제작하는 연속적인 경로 조절 (continuous path control) 노광 방식인 Leica의 LION LV1이 그런 grating 요소들을 공정 하는데 적합한 기술로 대두되고 있다 [8]. 노광과 관련이 있는 변수들 중, address 격자 크기(grid size, G)는 사실상 grating의 주기나 선폭 보다도 훨씬 더 작은 값을 갖는다. Address grid size는 노광시 스테이지의 움직임과 그 위치를 파악 조절하고 패턴의 분해능 (resolution)을 결정한다. 그러나 전자빔의 노광 동안 이 장비 (Leica의 LION LV1)는 address grid size의 영향 때문에 형성된 가상 grating (grating ghost)과 같은 잘 알려진 에러 (stitching and butting errors)들을 갖는다. 이는 일반적으로 큰 면적의 grating이나 잘못된 패턴 설계에 따른 것이다. Grating의 공정과 광학적 특성 사이의 관계를 평가하고 분석하는데 있어서, 전자빔 writer의 종류와 형태 그리고 성능은 중요한 사항이다. 그러나 가상 grating (grating ghost)의 억제와 공정상의 에러들을 줄일 수 있는 좀 더 중요한 사항은 다음과 같이 디자인하고 설계된 임의의 패턴 방향과 형태를 갖는 것이다. 그것은 grating 주기 (period)가 address grid size의 정수배여야 하며, 그 grating 주기를 address grid와 일치 시켜야 한다. 그래서 우리는 앞에서 기술한 사항들을 고려하여 연속적인 경로 조절 (continuous path control) 노광 방식의 Leica의 LION LV1이 아닌, 가장 혼한 workfield-base의 노광 시스템인 Leica의 EBPG-4HR을 사용하여 충분히 우수한 grating을 제작할 수 있었음을 기술하였다. 사용된 전자빔 묘화 시스템은 가장 혼한 workfield-base의 노광 방식으로 벡터 스캔 (vector scan)의 Gaussian 원형 빔을 사용한다 [9].

2. 실험

성공적 FGC의 성능을 실현시키기 위한 열쇠는 grating의 형성과정 즉 공정의 확일성과 재현성 뿐

만 아니라 그 구조를 이루는 물질의 특성 (각 layer의 두께, 굴절률, 상대 유전상수, 도핑, 전하밀도 등)과도 친밀한 연관이 있다.

2.1 도파로 특성과 Grating 제작

FGC의 각 layer 구조는 인치 실리콘(100) 웨이퍼 상에 4개의 layer들을 증착시켰다. 먼저 버퍼층 (buffer layer)으로 열적 산화(thermal oxidation)에 의한 SiO₂ 층(두께=1 μm, 굴절률=1.459)을 형성시키고, 두 번째 cladding층(cladding #7740 glass, 두께=2.5 μm, 굴절률=1.473)으로 rf 스퍼터링(plate 온도=573 K, rf-power =210 W)에 의하여 증착되었다. 다음 세 번째인 도파관 층(waveguide (core) layer, BK7 & BAK4 glass, 두께=1 μm, 굴절률이 각각=1.515, 1.5667)이 역시 rf 스퍼터링에 의하여 증착되었다. 마지막 grating 층(Si₃N₄, 두께=0.15 μm, 굴절률=1.78)으로 플라즈마 화학 기상 증착 (PECVD) 기술에 의하여 제작되었다. FGC's structure의 단면 계략도는 그림 1.에 잘 나타나 있다. 이렇게 제작된 FGC 구조의 시편과는 별도로 grating 패턴의 형성을 위하여 단지 두 layer, Si₃N₄ (1500 Å)/Si (substrate),만으로도 이루어진 시편을 dose 테스트에 사용하였다. Dose 테스트와 함께 전자빔 노광에 적용된 값들은 가속전압이 50 kV, 전자빔 전류가 800 pA, 빔의 직경이 50 nm, 필드 크기가 800 × 800 μm², 빔의 간격과 분해능을 각각 50/50 nm로 하였다. RIE 과정을 위한 우물 모양 또는 수직 구조의 적당한 grating profile을 얻기 위하여 그리고 전자들의 산란 효과에 의한 근접장 효과 (proximity effect)와 stitching과 butting에러와 같은 문제들을 해결하기 위하여 다음과 같은 두 가지 사항을 고려해야 한다 [10]. 그 첫 번째는 가능한 레지스트의 두께를 줄이는 것이 필요하다 [11]. 우리는 grating층을 정의하기 위하여 전자빔용 레지스트인 PMMA (polymethylmethacrylate, PMMA 950 K 4 %, 굴절률 = 1.49)를 최적의 코팅 speed 7000 rpm에서 2000 Å의 두께로 만들었으며, dose는 200에서 700 μC/cm² 까지 50 μC/cm² 만큼씩 증가시켰다. Develop은 developer인 MIBK:IPA (1:3)을 사용하여 60초에서 600 까지 20초 간격으로 증가시켜 얻은 결과로서 dose = 350 μC/cm²과 develop time = 120초의 최적의 공정조건을 얻을 수 있었다. 그림 2.는 spin speed에 따라 코팅후 PMMA 두께 변화를 나타낸 것이다. 두 번째로 위와 같은 문제와 함

계 공정을 좀더 단순화 시키고 grating 특색을 더욱 향상시키기 위하여, 우리는 grating의 주기를 address grid size의 정수배화 시키고 패턴 전체를 90도로 회전시켜 grating의 주기가 address grid에 일치 되도록 하는 노광 방식을 적용하였다.

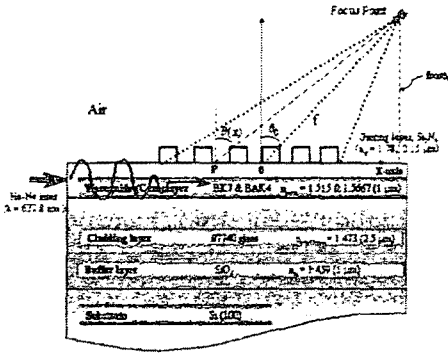


그림 1. FGC's structure의 단면 계략도.
Fig. 1. Schematic illustration of the proposed FGC's structure.

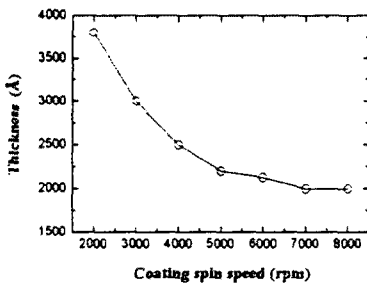


그림 2. Spin seed 변화에 따른 PMMA 두께변화.
Fig. 2. Resist (PMMA 950K, 4%) thickness as a function of the coating spin-speed.

2.2 건식 식각

활성 이온식각법(Reactive ion etching)는 이방성 식각 특성 때문에 반도체 소자의 미세 공정에 있어서 건식식각 기술에 가장 많이 사용되어지는 방법이다 [12]. 이 방법은 필수적으로 기판이 내부전극에 전기적으로 접촉되어야 하며, chamber 내부의 압력은 10 Pa 이하여야 한다. 이방성 식각 특성을 이용, 깨끗하고 좋은 미세 패턴의 grating을 얻기 위하여 최적의 공정조건

을 도출하였다. 특히 활성 이온식각의 주요 변수인 식각율, 식각시간, RF power, 식각시 챔버압력 그리고 식각 가스 비율 등의 주요 공정 조건을 도출하였다. Si₃N₄ 층을 식각하기 위해 사용된 가스는 carbon tetrafluoride (CF₄)라고 하는 불소를 함유한 기체 화합물이다 [9]. 식각 공정 조건은 가스 혼합물 CF₄ 100 %, 50 sccm, RF power 100 W, DC power 전압 394 V, 챔버압력 50 mTorr, 식각 시간 4 min 그리고 식각율은 395 Å/min 이다.

3. 결과 및 고찰

FGC 제작에 있어서 grating 곡선의 모양 왜곡은 빔 결합효율, 진행방향 및 집속형태 등에 큰 영향을 준다. 곡선 모양의 패턴에 연속적인 경로조절 (continuous path control) 노광 방식의 장비인 Leica LION LV1 장비가 아닌 일반 벡터 스캔의 workfield-base인 Gaussian 원형 빔 형태의 장비를 이용하여 노광 방법과 패턴방향에 따른 grating 곡선의 제작에 대하여 실험하였다. 실험결과 일정한 또는 서로 다른 grating 곡선은 최적의 노광 방법과 패턴설계의 선택으로 가장 일반적인 전자빔 묘화 장비에서도 좋은 결과를 얻을 수 있었다 [8]. 최적의 노광 방법과 패턴설계는 grating의 주기를 address grid size의 정수배화 시키고 패턴 전체를 90도로 회전시켜 grating의 주기가 address grid에 일치 되도록 하는 노광 방식을 적용하였다. 측정 결과 두 종류의 전자빔 레지스트에서 grating 패턴 전체를 90도로 회전 (grating의 주기를 address grid size의 정수배화 시킨 패턴)한 것과 회전하지 않은 grating 패턴 사이에는 많은 차이를 보였다. 90도의 회전을 적용한 패턴에서는 거의 stitching 과 butting 에러와 같은 문제가 거의 나타나지 않은 clear한 패턴을 얻을 수 있었다.

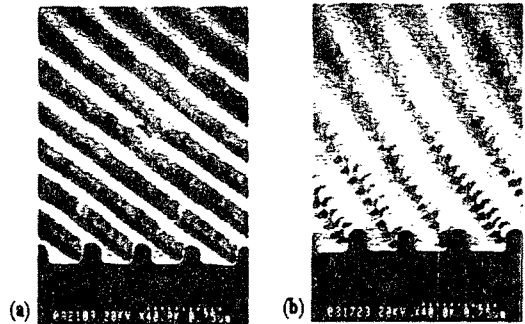


그림 3. (a) 90도 회전 및 (b) 0도 회전한 grating의 SEM 사진.

Fig. 3. SEM micrograph showing of grating lines fabricated with (a) rotating the pattern to 90 degrees (b) without rotating.

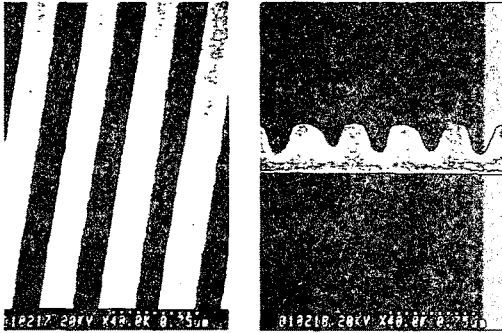


그림 4. 최적의 grating SEM 사진.

Fig. 4. SEM micrograph of fine grating profiles.

4. 결론

이러한 결과는 곡선 모양의 패턴에 연속적인 경로 조절 (continuous path control) 노광 방식의 장비인 Leica LION LV1 장비가 아닌 일반 벡터 스캔의 workfield-base인 Gaussian 원형 빔 형태의 장비에서도 앞에서 기술한 두 가지 노광 방식으로 선평의 간격이 $0.2 \mu\text{m}$ 인 미세한 grating 패턴을 우수하게 향상시킬 수 있음을 발견하였다. 또한, 실제 공정상의 조건 뿐만 아니라 패턴의 모양, 그들의 배열 방향, 분해능 그리고 address grid size와 같은 노광 전략과 grating 주기에 address grid size라는 것을 패턴 설계 시 반드시 고려해야 할 사항임을 확인 할 수 있었다. 이는 이것을 직접화시킨 다른 광 소자 공정과 응용에도 가능하게 할 것이다.

참고 문헌

[1] Y. Ito, A. L. Bleloch and L. M. Brown. "Nanofabrication of solid state Fresnel lenses for electron optics", Nature, vol. 394, 49(1998).
 [2] Peidong Yang et al., "Mirrorless lasing from mesostructured waveguides patterned by soft lithography", Science, vol. 287, 465 (2000).

[3] Shogo Ura et al., Appl. "Aberration characterizations of a focusing grating coupler in an integrated-optic disk pickup device", Opt. vol. 26, 4777 (1987).
 [4] Toshiaki Suhara and Hiroshi Nishihara. "Integrated optics components and devices using periodic structures", IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-22, pp. 845-867 (1986).
 [5] T. Suhara, H. Nishihara, and J. Koyama. "Waveguide holograms: A new approach to hologram integration", Opt. Commun., vol. 19, pp. 353-358 (1976).
 [6] Ralf Waldhausl et al., "Efficient coupling into polymer waveguides by gratings", Appl. Opt. vol. 36, pp. 9383-9390 (1997).
 [7] George N. Lawrence and Patrick J. Cronkite. "Physical optics analysis of the focusing gratings coupler", Appl. Opt. vol. 27, pp. 672-678 (1988).
 [8] Bernd Schnabel and Ernst-Bernhard Kley. "On the influence of the e-beam writer address grid on the optical quality of high-frequency gratings", Microelectron. Eng. vol. 57-58 (2001) 327-333.
 [9] Saburo Nonogaki et al., Microolithography fundamentals in semiconductor devices and fabrication technology (Marcel Dekker, Inc.,1998).
 [10] G. Messina et al., "Physical approximants to electron scattering", Microelectron. Eng. vol. 34 (1997) 147-154.
 [11] M. Bai et al., "Charging and discharging of electron beam resist films", J. Vac. Sci. Technol. B. vol. 17, 2893 (1999).
 [12] T. P. Pearsall, Quantum semiconductor devices and technologies (Kluwer academic publishers, 2000).