광 PCB 접속용 플러거블 렌즈의 설계 및 제작 연구

김정훈¹ · 이태호² · 김동민³ · 정명영^{1,†}

¹ 부산대학교 인지메카트로닉스공학과, ²부산대학교 광메카트로닉스연구소, ³삼성전기

A Study on the design and fabrication of Pluggable Lens for Optical PCB Interconnection

Jung Hoon Kim¹, Tae Ho Lee², Dong Min Kim³ and Myung Yung Jeong^{1,†}

¹Department of Cogno-Mechatronics Engineering, Pusan National University, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea

²The Institute of Opto-Mechatronics, Pusan National University, Geumjeong-gu, Busan 609-735 Korea

³Samsung Electro-mechanics Co., Ltd, Youngtong-Gu, Suwon 443-743, Korea

(2013년 9월 24일 접수: 2013년 12월 27일 수정: 2014년 3월 25일 게재확정)

초 록: 본 연구에서는 기존의 PCB의 한계를 극복할 수 있는 광 PCB에 대한 연구를 수행하였으며, 고효율 수동정렬을 위한 플러거블 렌즈구조를 제안하였다. 제안된 구조는 광 도파로 수동 정렬시 발생할 수 있는 렌즈와 도파로 간의 정렬 오차를 개선하고자 도파로와 렌즈를 합한 형태이다. 또한 탈착에 의해 손상되는 렌즈표면을 보호하기 위한 보호벽 형태를 지니므로써, 고효율의 수동정렬이 가능하게 하였다. 최적화 시뮬레이션을 통하여 구조를 설계하였고, 반복적 포토 리소그래피와 열적 리플로우 공정을 통하여 플러거블 렌즈 구조 제작을 위한 공정 연구를 수행하였다. 렌즈일체형 플러거블 접속구조의 광도파로를 PDMS복제공정으로 제작된 mold를 이용하여 임프린트 공정을 통해 제작하였다. 따라서 본 논문에서는 수동정렬이 가능한 광PCB접속용 플러거블 렌즈 구조의 제작이 가능함을 확인하였다.

Abstract: In this study, an optical PCB was proposed which can overcome the limitations of the conventional PCB, and a new structure with pluggable lens was considered for a high-efficient passive alignment. The structure was a lens-added optical waveguide for the improvement of misalignment between the lens and the waveguide in the alignment. Also, as it had a barrier-type structure to prevent the surface damage of the lens by desorption, the high-efficient passive alignment can be realized. The structure was designed by optimizing the simulation and the fabrication process of the pluggable lens structure was conducted using the repetitive photolithography and the thermal reflow. The optical waveguide with the lens-integrated pluggable interconnection was fabricated by the imprint process using the polydimethylsiloxane(PDMS) replica mold. Therefore, we confirmed the possibility of pluggable lens-added optical waveguide structure fabrication for high-efficient passive alignment.

Keywords: Optical PCB, Optical interconnection, pluggable lens, reflow process, Passive alignment

1. 서 론

정보통신 산업의 발전에 따른 전자제품의 집적화 및 고성능화와 대용량 고속 정보 전송이 요구되고 있다. 기존에 사용되고 있는 인쇄회로 기판(PCB: Printed circuit board)은 고속정보전송을 위해서는 높은 주파수와 넓은 대역폭이 필요하며 발열, 잡음, EMI (Electromagnetic interference), 유전손실 등의 문제로 고속정보 전송의 한계를 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 다양한 연구가 진

행되고 있지만,¹⁻²⁾ 높은 제작비용과 소비전력으로 인해 실제적 적용의 어려움이 있다. 따라서 기존 PCB에 비해 신호간 간섭이 없고 병렬전송이 용이하며 높은 주파수와 넓은 대역폭을 가지는 광PCB에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.³⁾ 광 PCB는 광원 자체의 발산에 따른 손실로 인해 접속효율이 떨어져 광PCB의 성능저하가 나타나며 수동정렬을 위해서 별도의 커넥터 등이 필요하여 제품의 소형화가 어려운 문제를 가지고 있다. 따라서 광 PCB의 경우 효율적인 광 소자와 전송경로간의 인터커넥

[†]Corresponding author
E-mail: myjeong@pusan.ac.kr

© 2014, The Korean Microelectronics and Packaging Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

선 및 패키징 기술이 요구 되고 있다.⁴⁻⁷⁾

본 논문에서는 높은 접속효율을 가지며 수동정렬이 가능한 광 PCB 접속용 플러거블 렌즈구조를 제안하였다. 제안된 구조는 광 PCB기판에서 광 도파로가 탈착이 가능하도록 결외구조로 제작하였고 렌즈보호를 위한 렌즈 보호벽 구조를 정렬패턴으로 사용하였다. 최종적으로 제안된 광 PCB 접속용 플러거블 렌즈구조의 해석과 공정 연구를 수행하였다.

2. 플러거블 렌즈 접속구조 최적화

플러거블 렌즈 접속구조는 렌즈의 반경이나 광원과 광 도파로 코어 간의 거리 등 다양한 구조적 변수에 의하여 영향을 받는다. 광학 시스템 설계 및 해석 프로그램인 LightTools 7.2.0를 사용하여 볼록렌즈 밑면 반경은 70 μm , 높이는 30 μm , 광원과 광 도파로의 거리가 270 μm 일 때 렌즈가 없는 구조와 비교하여 송신부에서 약 1.86배, 수신부에서 약 1.42배 향상된 효율과 최소한의 두께를 가지는 최적화 결과를 확인하였다. 이때 광 도파로 끝단은 45°로 성형되어 금속 코팅을 통해 100% 반사면을 가진다고 가정한다.⁸⁾

시뮬레이션에 사용한 설계치수는 Fig. 1(a)와 같으며 사용된 코어의 굴절률은 1.49675@830 nm, 클래드 굴절률은 1.4856@830 nm의 물성치로 설정하였고, 이외에 코어 및 클래드 크기는 50×50 μm 와 250×250 μm , 빔 발산각도는 20°, 포토다이오드 직경은 75 μm 로 적용하였다..

이러한 조건의 시뮬레이션에 의하면 하지만 실제 공정의 경우 열적 리플로우에 의해 제작된 마이크로 렌즈의 경우 반구형의 렌즈만이 형성되지 않고 포토레지스트

Fig. 1. (a) Schematics of Simulation model parameter (b) Simulation model for lens geometry change.

Fig. 2. Coupling efficiency according to focal length variations of lens.

의 두께에 따라 곡률 및 곡률중심 위치가 달라진다. 따라서 실제 제작을 위하여 공정오차의 허용범위를 알기 위해 Fig. 1(b)와 같이 렌즈의 곡률 중심의 위치 변화에 따른 광 접속 효율을 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션 결과 Fig. 2와 같이 렌즈의 초점이 광 도파로 표면에서 30 μm 내려갈 때까지는 송신부와 수신부에서 접속효율이 각각 99.97%, 100%로 나타나며, 그 이상 초점이 내려갈 때에는 도파로 표면에 노출되는 렌즈의 면적이 줄어들어 진행하는 빛을 집광하지 못하면서 효율이 급격하게 떨어지는 것을 볼 수 있다. 따라서 리플로우를 이용한 마이크로 렌즈 제작 시 초점의 위치 변화가 30 μm 까지 허용되는 것을 확인하였다.

3. 마이크로 렌즈 스탬프 제작

마이크로 렌즈를 제작할 수 있는 방법으로는 레이저를 이용한 에칭 방법⁹⁻¹⁰⁾, 건식 에칭¹¹⁾, 잉크젯기술¹²⁾, 리플로우 방법¹³⁻¹⁴⁾등 매우 다양한 방법이 있다. 그 중 본 연구에서는 저비용의 렌즈곡률 및 초점조절이 용이한 열적 리플로우 공정기법을 사용하였다. 열적 리플로우 마이크로 렌즈 제작기법은 포토레지스트 패턴을 형성한 후 열을 가해 표면적이 줄어들게 하여 구형의 렌즈패턴을 얻는 기법이다. 포토레지스트 패턴 사이즈에 따라 렌즈의 형상을 이론적으로 예측할 수 있는 장점이 있다.¹⁵⁾ 실제적으로는 리플로우 과정에서 포토레지스트의 용제가 기화하면서 질량이 감소하기 때문에 이를 고려하여 공정을 수행하여야 한다.¹⁶⁾

열적 리플로우를 이용한 마이크로 렌즈 및 보호구조물 제작 공정 개략도를 Fig. 3에 나타내었다. 전체 공정 중 코어패턴 제작 공정에서 Fig. 3의 (b)와 (c)의 패턴 높낮이를 다르게 함과 동시에 마스크 수를 줄이기 위해 두 번의 노광 공정을 수행하였다.

플러거블 렌즈 접속 구조를 위해서는 렌즈와 광 도파로의 정밀한 정렬이 요구 된다. 이러한 수동정렬을 위해 마이크로 렌즈와 함께 광 도파로 정렬구조패턴을 함께 제

Fig. 3. Schematics of lens stamp fabrication process.

작하여 정밀한 정렬을 수행하였다.

먼저, 포토리소그래피를 통해 렌즈보호벽 하부 기둥 패턴과 광 도파로 정렬구조패턴을 제작한다. 링 모양의 렌즈보호벽 하부 기둥 구조는 렌즈를 보호하는 역할을 하고 광 도파로 정렬구조패턴은 후 공정에서 광 도파로 정렬뿐 아니라 클래드 두께 조절에도 사용된다.

제작된 패턴에 렌즈형성용 포토레지스트를 도포하여 렌즈 및 렌즈보호벽 상부 구조를 위한 패턴을 형성하고 열적 리플로우를 통해 마이크로 렌즈 및 렌즈보호벽 굴곡을 형성하였다.

링 모양의 마이크로 렌즈보호벽 하부 기둥 및 광 도파로 정렬구조패턴을 형성하기 위해 높은 중형 비를 가지는 수직패턴 형성이 용이한 MicroChem 사의 SU-8 2050 음성 포토레지스트를 사용하였다. SU-8 2050을 스핀코팅을 통해 20 um의 두께로 도포한 후 포토리소그래피 공정을 통해 렌즈보호벽 하부 기둥 패턴을 형성하였다. Fig. 4에 생성된 렌즈보호 구조의 하부 기둥 및 광 도파로 정렬구조패턴을 나타내었다.

렌즈보호벽 하부 기둥 패턴을 제작한 후 두꺼운 마이크로 렌즈 형성을 위해 점성이 높은 MicroResist 사의 ma-P 1275 HV 양성 포토레지스트를 사용하였다.

높은 점도를 가지는 ma-P 1275 HV의 경우 앞서 형성된 링 구조의 패턴 위에 레지스트 도포 시 링 구조 내부에 기포가 갇히게 되어 렌즈패턴 형성에 문제를 발생시킨다. 따라서 ma-P 코팅과정에서 기포를 없애기 위한 추

Fig. 4. Fabricated structure of under pole pattern for lens.

Fig. 5. Fabricated coupling lens stamp with protective wall.

가 공정이 필요하다.

본 논문에서는 HMDS(Hexamethyldisilazane)를 사용하여 실리콘 웨이퍼와 기판간의 접착력을 향상시켜 기포에 의한 공정 문제를 최소화 하였다.

스핀코팅을 통해 30 um 두께로 ma-P레진을 도포하고 120°C에서 5분간의 리플로우 공정을 통하여 렌즈와 렌즈 보호벽 구조 및 광 도파로 정렬구조를 가지는 패턴을 제작하여 Fig. 5에 나타내었다.

4. 광 도파로 코어패턴 스탬프 제작

일반적으로 광 도파로 코어패턴은 실리콘 웨이퍼 상에 포토레지스트 패턴 형성 후 이를 마스크로 사용하여 식각공정을 통해 실리콘 웨이퍼 위에 코어 패턴을 형성하였다. 하지만 식각 공정은 패턴크기 조절이 어려우며 마이크로 단위의 패턴을 수행할 경우 많은 시간이 소요된다. 또한 표면조도가 좋지 않기 때문에 이를 스탬프로 사용할 경우 광 도파로의 전송손실이 매우 크게 나타난다.

본 논문에서는 이를 해결하기 위해 Fig. 6과 같은 순서로 반복적 포토리소그래피 공정을 통해 광 도파로 코어패턴을 Fig. 7과 같이 50x50 um로 제작하였고 광 도파로 정렬구조패턴은 200x170 um로 제작하였다. 표면조도 Ra의 값은 Fig. 8과 같이 5.407 nm로 일반적인 식각 공정의 표

Fig. 6. Schematics of Optical waveguide core pattern stamp fabrication process.

Fig. 7. Result of Core pattern fabrication process.

Fig. 8. AFM image of core pattern surface roughness.

면조도와 비교해 향상된 광 도파로 코어 패턴을 얻었다.

5. 렌즈 일체형 광 도파로 제작

플러거블 렌즈 접속구조 광 도파로 제작을 위해 앞서 제작된 마이크로 렌즈 및 렌즈보호벽구조와 코어의 복합 구조 패턴을 PDMS 복제 공정을 통해 음각의 PDMS 스탬프를 제작하였고 제작된 스탬프를 이용하여 소프트리

Fig. 9. Schematics of built-in lens optical waveguide fabrication process.

소그래피 및 임프린트 공정을 통해 플러거블 렌즈 접속 구조 광 도파로를 제작하였다. Fig. 9에 제작 공정 개략도를 나타내었다.

앞서 제작된 광 도파로 코어 음각패턴을 가진 PDMS스탬프(Fig. 9(a)) 위에 UV curable resin 을 도포한 후 하부 클래드로 사용될 PMMA 시트를 덮어서 UV경화 시킨다(Fig. 9(b)). 코어 레진은 830 nm파장에서 굴절률 1.49674의 값을 가지는

ChemOptics 사의 UV curable resin WIR30-500를 사용하였고 하부 클래드로 사용된 PMMA시트는 830 nm파장에서 굴절률 1.4851, 두께 250μm의 Obducat 사의 제품을 사용하였다.

PMMA시트를 코어레진에 덮을 때 코어레진과 시트 사이에 기포와 잔류층이 존재하여 광 도파로의 성능을 저하시키는 문제가 발생하는데 이를 해결하기 위해 진공챔버를 사용하여 코어내의 기포를 제거하고 롤링을 통하여 잔류층을 최소화 하였다.

UV경화 후에 PDMS 스탬프를 분리하고 그 위에 상부 클래드 물질인 ChemOptics 사의 UV curable resin WIR30-480을 도포하였다(Fig. 9(c)). WIR30-480은 830 nm파장에서 굴절률 1.4856의 값을 가지고 있다. 그 후에 이전 마이크로 렌즈 공정에서 제작된 음각패턴을 가진 PDMS스탬프를 사용하여 클래드 레진을 UV 경화 시켜(Fig. 9(d)) 최종적으로 광 PCB 접속용 플러거블 렌즈를 제작한다(Fig.

(a)

(b)

Fig. 10. (a) Image of Pluggable lens structure with optical waveguide (b) Optical microscope image of Pluggable lens structure with optical waveguide.

9(e)). 이때 스탬프에 형성된 광 도파로 정렬구조는 양각의 정렬구조패턴과 맞물려 UV 레진의 두께 조절 및 렌즈와 코어패턴의 정렬 문제를 해결해준다.

음각의 광도파로 정렬구조패턴인 20 μm 에 의해 상부 클래드의 두께는 100 μm 가 된다. Fig. 10에 제작된 플러거블 렌즈 접속구조 광 도파로를 나타내었다.

6. 결 론

본 논문에서는 고효율 광 PCB 패키징을 위한 플러거블 렌즈 구조 해석 및 제작공정 연구를 수행하였다. 렌즈를 통하여 광원을 모아 접속효율을 높이는 렌즈 일체형 구조를 임프린트 공정을 통해 수동정렬이 가능하게 제작하였다.

광학 시뮬레이션을 통해 최적의 접속효율을 나타내는 렌즈 곡률중심의 위치변화가 30 μm 를 이내 임을 확인하였고 포토리소그래피와 리플로우 공정을 통해 마이크로 렌즈 구조 및 렌즈 보호벽 구조를 제작하였다.

그리고, 정밀한 제작공정을 위하여 200×170 μm 광 도파로 정렬구조패턴을 이중 포토리소그래피 공정을 통하여 50×50 μm 크기의 광 도파로 코어 패턴과 함께 복합구조패턴으로 제작 하였으며 20 μm 의 깊이의 마이크로 렌즈 패턴을 가지는 음각의 PDMS스탬프를 코어크기 50 μm , 정렬패턴 170 μm 의 광 도파로 정렬구조패턴을 가지는 양각의 패턴과 결합시켜 100 μm 의 상부 클래드를 가지는 렌즈 일체형 광 도파로 구조를 제작하였다.

본 연구를 통해 플러거블 렌즈기반의 광 PCB패키징을 구현하였으며 이중 포토리소그래피 공정과 PDMS를 통해 복합구조패턴의 렌즈 제작 및 수동정렬이 가능함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 “지식경제부”, “한국산업기술진흥원”, 동남 광역경제권 선도산업지원단의 “광역경제권 선도산업 육성사업”으로 수행되었음. 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. M. H. Jeong, J. M. Kim, S. H. Yoo, C. W. Lee, and Y. B. Park, “Effect of PCB surface finishes on intermetallic compound growth kinetics of Sn-3.0Ag-0.5Cu solder bump”, J. Microelectron. Packag. Soc., 17(1), 81 (2010).
2. S. J. Ryu, “Comparison of PCB surface treatment effect using UV equipment and atmospheric pressure plasma equipment”, J. Microelectron. Packag. Soc., 16(3), 53 (2009).
3. J. H. Ryu, D. M. Kim, E. S. Kim and M. Y. Jeong, “Optical PCB and Packaging Technology”, J. Microelectron. Packag. Soc., 18(1), 7 (2011).
4. S. H. Hwang, M. H. Cho, S. K. Kang, T. W. Lee, H. H. Park and B. S. Rho, “Two-Dimensional Optical Interconnection Based on Two-Layered Optical Printed Circuit Board”, IEEE Photon. Technol. Lett., 19(6), 411 (2007).
5. I. Papakonstantinou, D. R. Selviah, R. Pitwon and D. Milward, “Low-Cost, Precision, Self-Alignment Technique for Coupling Laser and Photodiode Arrays to Polymer Waveguide Arrays on Multilayer PCBs”, IEEE Trans. Adv. Packag., 31(3), 502 (2008).
6. S. H. Ahn, I. K. Cho, B. H. Rhee and M. S. Lee, “Pluggable Optical Board Interconnection System With Flexible Polymeric Waveguide”, IEEE Photon. Technol. Lett., 20(8), 572 (2008).
7. K. Nakama, Y. Matsuzawa, Y. Tokiwa and O. Mikami, “Board-to-Board Optical Plug-In Interconnection Using Optical Waveguide Plug and Micro Hole Array”, IEEE Photon Technol. Lett., 23(24), 1881 (2011).
8. D. M. Kim, T. K. Lee, T. H. Lee, M. Y. Jeong, “Design for High-Efficient passive Optical PCB Interconnection by Using Built-in Lens Structure”, Journal of the Microelectronics & Packaging Society. Vol. 19, No. 2, p. 47-53 (2012).
9. S. Mihailov and S. Lazare, Fabrication of refractive microlens array by eximer laser ablation of amorphous Teflon. Appl Optics 32, 6211 (1993).
10. M. Kubo and M. Hanabusa, Fabrication of micro-lenses by laser chemical vapor deposition. Appl Optics 29 2755 (Jun, 1990).
11. M. B. Stern and T. R. Jay, Dry etching for coherent refractive microlens array. Opt Eng 33, 3547 (1994).
12. D. L. MacFarlane, V. Narayan, W. R. Cox, T. Chen, and D. J. Hayes, Microjet fabrication of microlens array. IEEE Photonics Technology Letter 6, 1112 (1994).
13. T. R. Jay, M. B. Stern, Preshaping Photoresist for Refractive Microlens Fabrication. Opt Eng 33, 3552 (1994).
14. Y. Lin, C. Pan, K. Lin, S. Chen, J. Yang, and J. Yang, Polyimide as the pedestal of batch fabricated micro-ball lens and micro-mushroom array. Micro Electro Mechanical systems, 2001 The 14th IEEE International Conference, 337 (2001).
15. H. Toshiyoshi, G. D. J. Su, J. LaCrosse, M. C. Wu, A surface micromachined optical scanner array using photoresist lenses fabricated by a thermal reflow process. J Lightwave Technol 21, 1700 (2003).
16. S. H. Kim, S. K. Hong, K. H. Lee and Y. H. Cho, “Shape Error and Its Compansation in the Fabrication of Microlens Array Using Photoresist Thermal Reflow Method”, J. Microelectron. Packag. Soc., 20(2), 7 (2013).