

# 광 PCB 개발 중심으로

광 PCB 개발 중심으로

과학기술부/한국과학재단 지정 우수연구센터

## 집적형 광자기술 연구센터

이일항, 이승걸

인하대학교 정보통신공학부

E-mail: opera@inha.ac.kr, sglee@inha.ac.kr

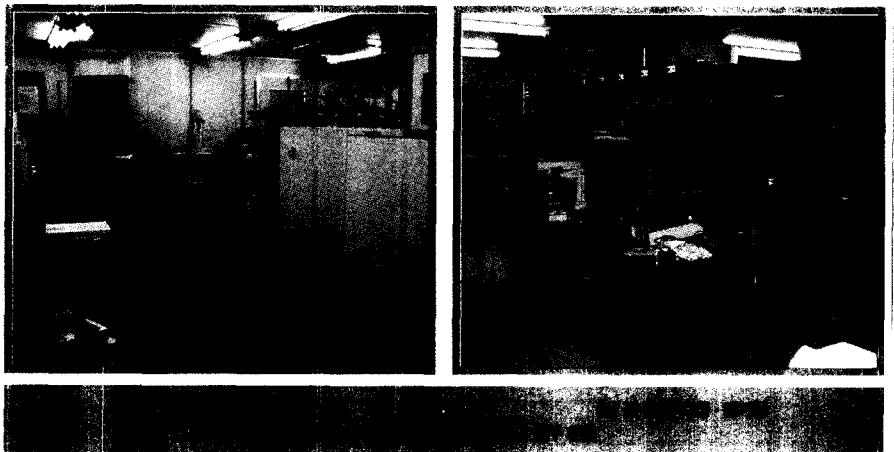
URL: <http://www.opera.re.kr>

### 1 센터 소개 및 광-PCB 개념

최근 인터넷의 급속한 확산과 정보화 사회의 출현으로 정보통신 수요가 급격히 증가하게 되었으며, 이에 따라 대부분의 유선통신 방식이 광통신 방식으로 대체되고 있다. 또한 조만간 가정이나 사무실에까지 광섬유가 설치되어 초고속 대용량 정보 전달이 광에 의해 수행될 전망이다. 정보 전달이 광에 전적으로 의존함에 따라 정보 생성, 정보처리 및 가공, 정보 분배, 정보 저장까지도 광으로 처리하려는 개념은 자연스러운 발상이며, 이를 실현하려는 노력은 당연한 것이라 생각한다.

20세기를 전자시대라 칭할 때, 전자-PCB(printed circuit board)와 IC(integrated circuit)의 의미를 결코 과소평가할 수 없을 것이다. 고집적의 고성능 전자시스템을 규격화된 대량생산을 통해 저가격화할 수가 있었던 것은 이 두 가지 개념에 의한 것이며, 이로 인해 전자공학이 20세기 산업 전반에 크나큰 임팩트(impact)를 미칠 수 있었다고 본다. 같은 관점에서 광에 의한 정보 전달 외에도 각종 단계의 정보통신 처리가 광의 수단으로 대체될 수 있다면, 광자공학도 21세기 산업전반에 큰 임팩트를 미칠 수 있을 것이라 기대해 본다. 광자공학이 21세기 정보통신사회에서 꽃을 피우기 위해서는, 전자공학의 두 가지 주요한 개념에 대응하는 광-PCB(Optical Printed Circuit Board) 개념의 도입과 광자 IC(Photonic Integrated Circuit)의 완성이 무엇보다도 중요한 과제라 생각된다.

이에 본 센터는 집적형 광자기술 개



발의 필요성을 제안하여 2003년 8월 과학기술부 및 한국과학기술연구원으로부터 우수연구센터로 지정받았으며 그 센터를 인하대학교에 두고 있다. 현재 총 16명의 교수급 연구진과 약 50여명의 석·박사과정 대학원생이 광-PCB의 조기 구현 및 산업화 기술을 개발하기 위해 매진하고 있다.

광-PCB는 수동형/능동형 광자소자, 광전소자 및 전광소자를 하나의 기판에 장착(mounting)하고 소자들 간의 신호 전송을 고분자 도파로를 통해 광신호로 처리하고자 하는 개념이다. 전자-PCB와 비교해 본다면, 그림 2에서와 같이 전자-PCB의 구리 배선과 전자신호를 저가의 고분자 광 도파로와 광자신호로 대체하는 개념이다. 이를 통해 광자 시스템의 소형화, 집적화, 안정화 등을 추구하고, 특히, 전자-PCB의 문제점인 데이터 전송용량 한계, 신호 손실, 전자파 장애, 신호 혼선, 임피던스 매칭 문제 등을 극복하고자 한다.

광-PCB는 광 접속(optical interconnection) 개념으로부터 출발한 것이지만, 광의 수단으로 소자들 간의 신호 전달을 수행하는 것 뿐만 아니라 자체적으로 광 정보처리를 담당한다는 측면에서 더 확장된 개념에 해당한다. 또한, 기판에 광자소자를 장착하는 방식을 통해 광소자의 정렬 및 패키징(packaging) 문제를 해결하려는 궁극적인 목적을 가지고 있다.

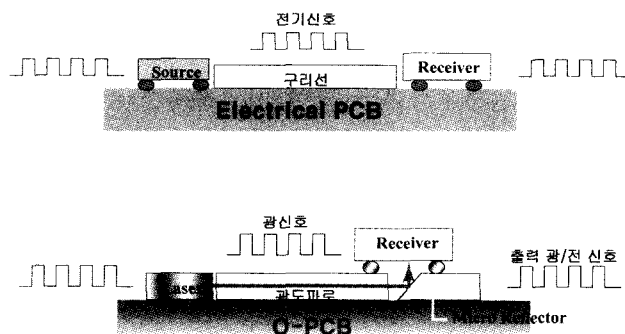


그림 2. 전자-PCB와 광-PCB의 개념 비교.

## 2 국내외 연구 개발 동향

광-PCB의 초기 개념에 해당하는 광 접속 연구는 1980년대부터 국내외에서 활발히 시도되어 왔으며, system-to-system, board-to-board, chip-to-chip, intrachip 단계로 분화되어 많은 연구 성과를 얻어 왔다. 특히 최근에는 backboard interconnection 혹은 optical backplane 분야에 대한 관심이 고조되고 있다.

국외의 경우, 광-PCB에 대한 본격적인 연구는 1997년 독일 Siemens의 C-lab을 중심으로 진행되고 있으며, 미국의 University of Texas, Intel사, Dupont사, 일본의 NTT 등에서도 활발히 시도되고 있다. 광-PCB에 관한 대표적인 연구 성과를 표 1에 간략히 소개하였으며 발표년도는 연구가 시작된 시점을 의미하지 않는다.

표 1. 광-PCB 분야의 중요 국외 연구 성과

국 가	기관명	기 술 명	발표년도
미 국	Dupont	Polyguide polymeric 기술	1997
	NEMI, IPC	광-PCB 표준화	2000
	BFGoodrich Inc.	Tailored Optical Polymers Through a Novel Catalyst System(TOPCAT)	2001
	Texas 대학교	Embedded Board Interconnect	2003
독 일	Ulm 대학교, Daimler Chrysler	Optical Backplane	2002
	Fraunhofer 연구소	Electrical Optical Circuit Board (EOCB)	2003
	C-lab, Siemens	Electrical Optical Circuit Board (EOCB)	2002
일 본	전자산업협회	광-PCB 표준화	1999
	Toyota	Vertical coupling 기술	2001
	NTT, NEC	Optical Fiber Board	2002
	NTT	OptoBump	2003
이스라엘	GalayOr Inc.	Optical Motherboard	1998

한편, 국내에서도 2000년부터 ETRI의 광집속모듈탑에서 매몰형(embedded) 고분자 도파로를 이용한 광 접속 연구가 시작되었으며, 2003년 10월에는 한국정보통신대학교와 삼성전기(주)의 공동 연구를 통해 광-PCB(정확히는 optical fiber board)가 구현되기에 이르렀다. 최근에는 전자부품연구원, 생산기술연구원, 한국과학기술연구원, 광주 광기술원 등의 국책 연구소와 SKC, LG 전자 등의 산업체에서도 광-PCB 개발에 큰 관심을 보이고 있으며, 국내 대학교에서도 이 분야의 연구가 본격화되고 있다.

특히 올해 2월에는 한국전자회로산업협회 및 관련 국책 연구소의 주도로 광-PCB 표준화를 위한 준비 성격의 워크샵이 개최된 바 있으며, 광 PCB 컴소시엄 구성을 목표로 현재 노력 중에 있다. 이러한 움직임은 광-PCB 표준화 주도권을 확보함으로써 관련 핵심 기술을 선도하고 광-PCB 세계 시장을 선점하려는 노력의 일환으로 이해된다.

## 핵심 요소기술

광-PCB 구현에 대한 초기 연구는 대용량 데이터 전송이 요구되는 특정 응용 분야에서 전자-PCB를 대체하는 단계로부터 시작될 것이나, 점차 능동형 광자소자를 장착하거나 광 정보처리 기능을 부과하는 단계로 발전해 갈 것이다. 광-PCB의 각 발전 단계에 따라 다양한 핵심 요소기술이 요구되겠지만, 기본적으로 핵심 요소기술은 광-PCB 자체의 구현 기술과 소자의 장착 기술, 광-PCB 평가 기술로 정리될 수 있을 것이다.

### 3.1 광-PCB 자체의 구현 기술

광-PCB가 산업에 활용되기 위해서는 저가 대량생산이 매우 중요하므로, 반도체 공정 장비를 활용하는 개별 직접 제작 방식보다는 엠보싱(embossing) 공정이나 압축 성형 공정에 의한 대량 복제 방식이 적합할 것이다. 또한, 광-PCB 소재로는 전자-PCB와의 호환성, 가격, 성형성 등을 고려할 때 저순실 고분자 소재가 적합할 것이다. 이러한 생산 방식 때문에 광-PCB 자체의 구현 기술은 그림 3과 같이 1) 광-PCB 원형 설계기술, 2) 광-PCB 원형 제작기술, 3) 광-PCB 스탬프 제작 및 복제기술로 나뉘어진다.

첫 번째로 광-PCB 원형 설계기술은 수십  $\mu\text{m}$  크기의 고분자 도파로로 구성되는 광배선의 전파특성을 수치 해석적으로 분석하는 기술, 기판 내에서 광신호 전달을 위한 효율적인 광배선 설계 도구 개발, 그리고 광배선의 표준화 기술 등으로 구성된다.

두 번째로 광-PCB 원형 제작기술은 대량 복제를 위한 원판을 얻는 과정으로, 일반적인 도파로 소자와 달리 도파로의 코어(core)가 수십  $\mu\text{m}$ 의 단차를 가지므로, 이러한 목적에 맞는 광배선 패턴의 노광 기술 및 원형을 형성하는 식각공정 기술이 요구된다. 따라서 MEMS용 photoresist를 사용하며, Deep UV 혹은 X-선을 이용하거나 레이저 패턴 형성기(direct laser writer)를 이용하는 노광 기술이 활용되기도 한다. 원형을 형성하기 위해서는 고 정확도를 가지며, 광 특성을 향상시키기 위해 식각면의 표면 거칠기가 낮은 식각공정 기술이 적용된다.

세 번째로 광-PCB 대량 복제를 위해 광-PCB 원형을 직접 사용할 수도 있지만, 원형과 고분자 소재의 접착 문제와 원형의 손상 문제로 인해 전기 도금으로 별도의 Ni 스탬프를 제작하는 것이 일반적이다. 광-PCB는 준비된 스탬프(stamp)를 이용하여 열 엠보싱(hot embossing), UV 엠보싱, 압축 성형 공정 등을 통해 대량 복제되며, 클래딩 층을 증착함으로써 매몰형 광 배선이 구현된다.

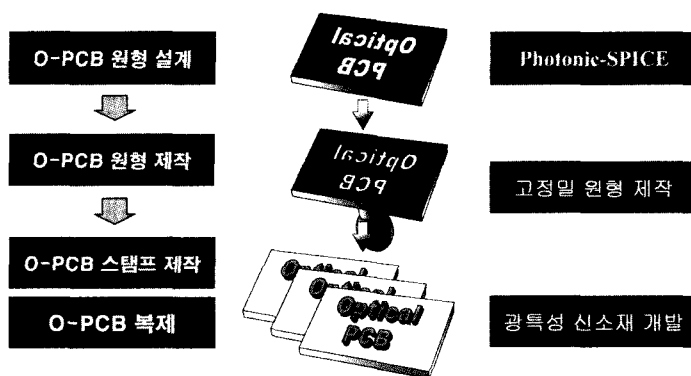


그림 3. 광-PCB 자체의 구현 기술

### 3.2 소자 장착 기술

광-PCB가 실제 동작하기 위해서는 광-PCB 위에 각종 전자소자와 광전소자가 장착되어야 하므로 이들 소자를 기판에 장착하는 패키징 기술이 필요하며, 광신호 손실과 전파특성 측면에서 광전소자와 광 배선의 접속 기술이 요구된다. 또한, 전자소자 및 광전소자를 구동하기 위한 구동회로부가 필수적이므로 구동 회로를 포함하는 전자-PCB와 광-PCB를 접합하는 기술 또한 매우 중요하다. 이 중에서 패키징 기술과 접합 기술은 IC 제작 분야에서 이미 기술적으로 성숙되어 있는 Flip-chip bonding 기술, Die-bonding 기술, 그리고 solder ball을 이용하는 접합 기술을 통해 어느 정도 해결 가능하므로 여기서는 광접속 기술을 중심으로 살펴보고자 한다.

전자소자와 달리 광전소자와 광자소자의 경우에는 아주 엄격한 정렬 공차가 요구되므로, 광 접속 기술은 단순히 광원의 출력광을 광 배선에, 광 배선의 출력광을 수광 소자에 효율적으로 결합하는 것 이상의 의미를 갖는다. 정렬 공차를 확보하기 위해 코어 크기가 수십  $\mu\text{m}$ 인 광 배선을 사용하는 것 외에도 오정렬(misalignment)의 영향을 최소화하는 접속용 광학계 구성 기술이 필수적일 것이다.

지금까지 시도된 광접속 방식으로는 그림 4(a)와 같이 광배선 속에 광원을 삽입하여 광원의 출력광을 butt coupling 방식으로 코어에 결합하는 것과 그림 4(b)와 같이 45도 반사면을 광배선 속에 삽입하여 PCB 위에 장착된 광전소자와 광배선을 접속하는 방식이 있었다. 이 두 가지 방식은 독일 Siemens사의 C-lab 연구진에 의해 제안된 것이다. 또 다른 방식으로 광배선의 끝부분에 45도의 경사면을 형성하여 전반사를 이용하거나, 경사면에 금속을 증착하여 거울면에 의한 반사를 이용하기도 한다. 이 경우 45도 경사면의 형성 과정이 용이하지 않지만, 최근 일본 NTT에서는 90도의 각을 갖는 다이아몬드 톱날을 이용하여 45도 경사면을 형성하는 기술이 제안되기도 했다. 한편, 45도 경사면 대신에 광배선의 끝부분을 곡면 처리하여 빛의 결합 효율을 높이는 방안이 ETRI의 광접속모듈팀에 의해 시도된 바도 있다.

전술한 광접속 방식과 달리 정렬 오류(misalignment)의 영향을 최소화하는 접속용 광학계 개념이 적용된 접속 방식이 최근 일본 NTT에 의해 제안되었으며 자세한 구성은 그림 5와 같다. 이 방식에서는 결합 효율 및 정렬 공차를 높이기 위한 목적에서 접속 경로 상에 두 종류의 microlens array를 사용하고 있다. 이외에도 GRIN rod lens나 볼 렌즈(ball lens)로 구성되는 접속용 광학계가 사용되었으며, 표면 회절격자를 이용하는 방안도 제안되었다.

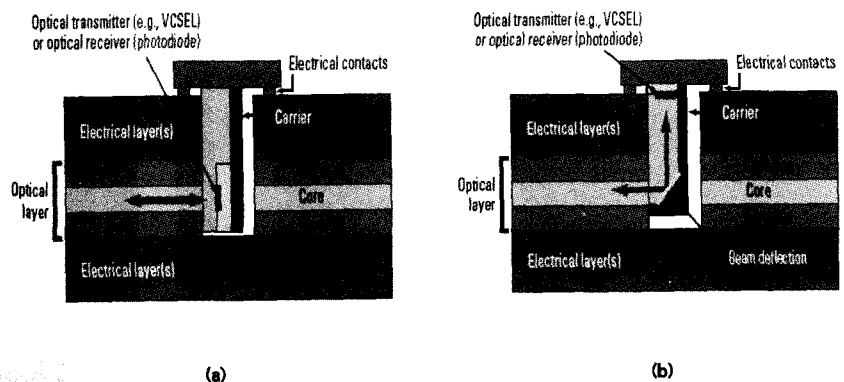


그림 4. 독일 Siemens사에 의해 제안된 광접속 방식<sup>(1)</sup>

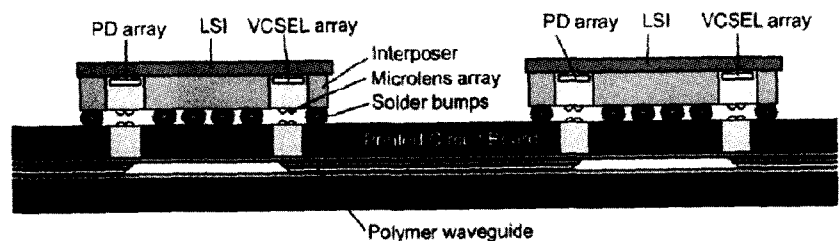


그림 5. 일본 NTT에 의해 제안된 광접속 기술 (OptoBump)<sup>(2)</sup>

### 3.3 광-PCB 평가 기술

광-PCB의 평가는 단위 광배선의 전파특성을 측정하고 평가하는 기술과 광-PCB의 동작 특성을 평가하는 기술로 나뉘며, 후자는 광통신 시스템 평가 기술로 대신할 수 있을 것이다. 현재까

지 평가 기술에 대한 체계적인 접근이 부족하지만, 단위 광배선의 전파특성을 측정하고 평가하기 위한 방안으로는 근접장 주사 광학현미경(near-field scanning optical microscope)을 이용하여 광신호의 전파 상황을 직접적으로 관찰하는 방법과, 저간섭성 광원 간섭계(optical low-coherence interferometer)를 이용한 전파 특성 평가 방법, 그리고 optical vector analysis 방법이 적용될 수 있을 것이다. 한편, 초고속 데이터 전송과 관련하여 광초단파 펄스에 의한 광-PCB 평가 기술의 확립도 필요할 것이다.

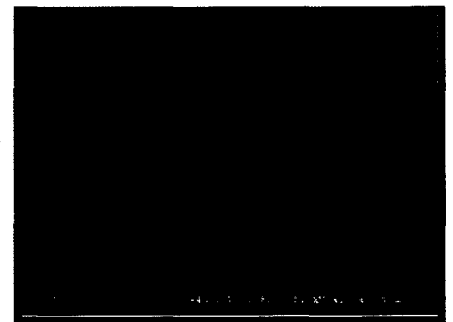
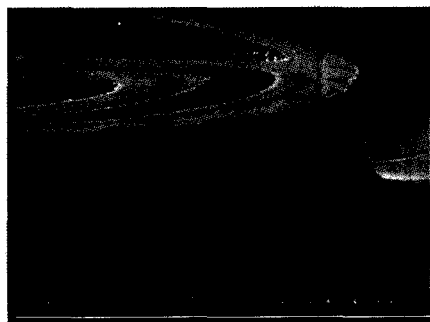
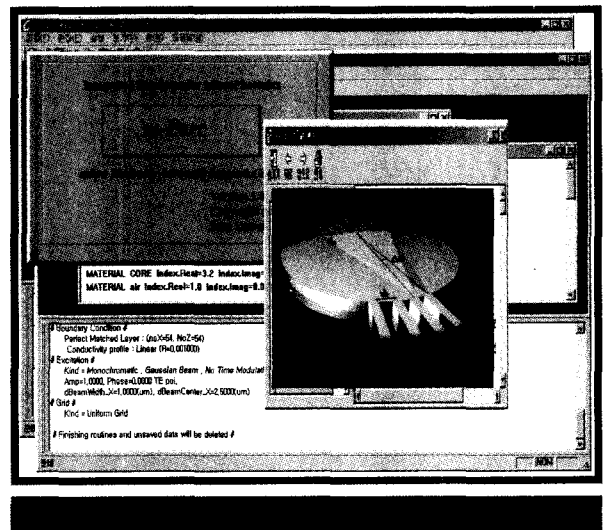
본 센터에서는 광도파로 소자의 설계, 제작, 평가를 중심으로 배열 도파로 격자(arrayed waveguide) 소자, 방향성 결합기(directional coupler), Y-branch 광속분리기, MMI(multimode interference) 소자 등을 연구해 왔으며, 이들 소자를 수치 해석적으로 분석하기 위한 광자소자용 시뮬레이터, 소자 제작을 위한 반도체 식각공정 기술, 소자의 복제를 위한 엠보싱 공정 기술 등을 확보하고 있다.

우선, 광-PCB 원형 설계와 관련하여 FDTD(finite difference time domain), BPM(bean propagation method), EIM(effective index method), MPA(mode propagation analysis), RCWA(rigorous coupled wave analysis) 등과 같은 다양한 수치해석 기법을 포함하는 photonic simulator(그림 6)를 개발하고 있으며, 특히 광배선의 전파특성과 손실 특성을 분석할 목적으로서 광선 추적법(ray tracing)에 기초한 도파로 분석법도 개발하고 있다. 한편, 집속용 광학계를 채택한 새로운 광집속 방식을 고안하기 위해 결합효율을 분석하기 위한 micro-optic simulator를 개발 중에 있다. 이 simulator에서는 광선 추적법을 통해 볼 렌즈, GRIN rod lens, microlens array, 반사면 등의 영향을 체계적으로 분석하게 된다.

광배선이 광-PCB의 기본 구성요소이지만, 광신호의 분배/결합을 위해서는 광속 결합기 및 광속 분배기 등이 필요하므로, 다중 모드 광도파로를 기반으로 하는 소자 설계법을 개발하고 있으며, 45도 경사면의 효율적인 형성 방법 등을 고안하여 특허 출원 중에 있다.

광-PCB 원형 제작을 위해 기존 Bosch process를 개선하여 1.4 $\mu$ m/min의 식각율로 깊이 40 $\mu$ m 이상의 Si 기판을 식각하는 공정을 개발하였으며, 광배선에서 요구되는 표면 거칠기 수준을 상회하는 결과를 얻고 있다. 그림 7에서 일반적인 식각 기술로 제작된 형상(a)과 개선된 Bosch 공정으로 제작된 형상(b)을 보여주고 있다.

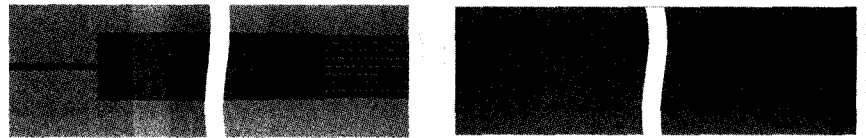
광-PCB 복제를 위해서는 주로 UV 엠보싱 공정이 시도되고 있으며, ZenPhotonics사의 UV curable 폴리머를 소재로 사용하고 있다. 엠보싱 공정에 대한 기술 확보를 위해 한국기계



연구원과 공동으로 photoresist 종류에 따른 영향과 Ni 스탬프와 고분자 소재의 접합 문제를 집중적으로 다루고 있다. 그림 8은 높이 수  $\mu\text{m}$  이내인 단순 광도파로 소자의 복제 결과이며 그림 9는 높이가 수십  $\mu\text{m}$  이상인 구조물의 복제 결과이다.

광-OPB 평가를 위해 근접장 주사광학 현미경을 제작하였으며, 단차가 높은 광배선을 측정하기 위해 아날로그/디지털 제어 방식을 결합한 복합 제어 방식을 새로이 고안하여 광섬유 탐침의 높이를 제어하게 된다. 이를 통해 측정 시간의 단축과 탐침의 손상을 방지할 수 있었다. 제작된 현미경을 이용한 광도파로 소자의 전파특성 측정 결과는 그림 10과 같다.

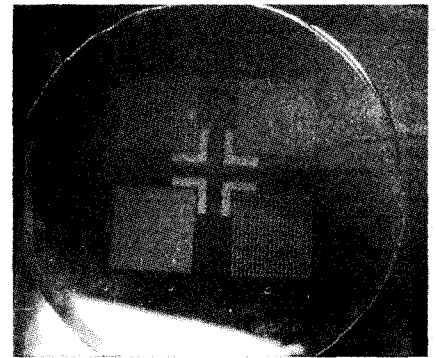
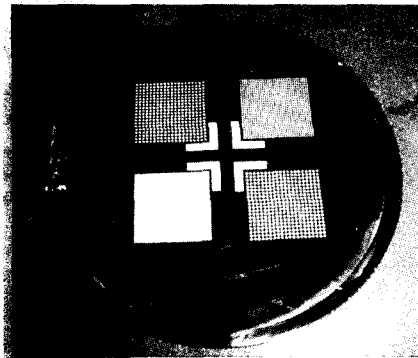
상기와 같은 요소기술들을 통합하여 4-ch 광-PCB 모듈 구현을 위한 실험을 진행 중에 있으며, 국내에서 시도된 방법과는 달리 광-PCB와 구동회로를 포함하는 전자-PCB를 적층하는 방식을 적용하였다. 구성요소는 출력 파장이 850 nm인 VCSEL array, Si photodiode array, 코어 크기가  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 인 광배선이며, 각종 소자의 장착과 PCB의 접합을 위해 solder ball 접합 방식을 사용하고 있다.



(a) master

(b) replica

그림 8. 1X8 MMI splitter의 복제 결과



(a) Ni stamp

(b) replica

그림 9. 단차 40  $\mu\text{m}$  구조의 복제 결과 (PDMS 사용)

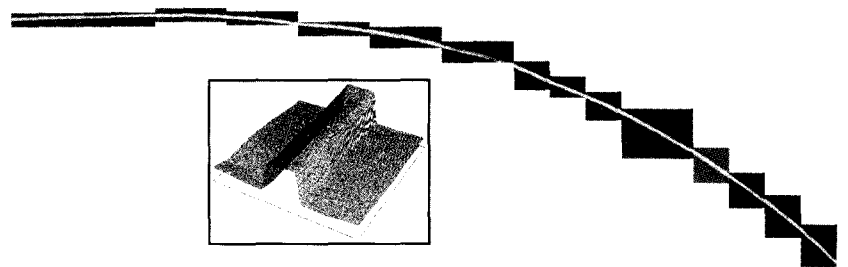


그림 10. 길이가 1800  $\mu\text{m}$ 인 곡선형 도파로의 진행광의 세기 분포

## 맺는 말

광-PCB는 대용량 데이터 전송이 요구되는 FTTH(fiber-to-the-home) 분야, 컴퓨터의 board-to-board 접속을 위한 optical backplane 분야, EMI 문제 해결과 경량화가 요구되는 자동차, 비행기와 같은 지능형 수송체 분야에서 다양한 활용이 기대된다. 광-PCB가 조기에 산업화되기 위해서는 서술한 요소 기술 외에도 고분자 소재 기술, 패키징 기술, 리본 광섬유 기술, 각종 광 소켓 기술 등의 개발이 병행되어야 하며, 광-PCB 표준화 노력도 매우 중요하다고 본다.

최근 광-PCB의 산업화 가능성이 높아짐에 따라, 국내 여러 기관 및 산업체에서 광-PCB 기술 개발에 큰 관심을 가지게 되었으며 상호 협력을 통해 광-PCB의 국가 경쟁력 및 국제적인 주도권을 확보하는 계기가 되었으면 한다.

이상과 같이 광-PCB 개념, 광-PCB 개발 현황, 구현에 필요한 핵심 요소 기술 등을 살펴보았으나, 이 글을 통해 광-PCB를 체계적으로 이해하는 데는 부족함이 많을 것으로 생각된다. 부족하나마 광-PCB 분야를 이해하는 첫걸음이 되었으면 한다.

## 참고문헌

1. E. Griese, "Optical interconnection technology for PCB applications," Printed Circuit Fabrication, 25(6), pp. 20-36 (June 2002, CMP Media Inc)
2. Y. Ishii, S. Koike, Y. Arai, and Y. Ando, "SMT-compatible large-tolerance OptoBump interface for interchip optical interconnections," IEEE Trans. on Advanced Packaging, 26(2) pp. 122-7(May 2003)

