정보저장시스템학회논문집, 제 1 권 제 2 호, pp. 175~181

벌크 마이크로머시닝 기술을 이용한 박형 광픽업용 SiOB 제작

The Fabrication of SiOB by using Bulk Micromachining Process for the Application of Slim Pickup

최석문†, 박성준*, 황웅린**

Seog-Moon Choi, Sung-Jun Park, and Woong-Lin Hwang

Abstract

SiOB is an essential part of slim optical pickup, where the silicon mirror, LD stand, silicon PD are integrated and LD is flip chip bonded. SiOB is fabricated with bulk micromachining. Especially the fabrication of silicon wafer with stepped concave areas has many extraordinary difficulties. As a matter of fact, experiences and knowledges are rare in the fabrication of the highly stepped silicon wafer. The difficulties occurring in the integration of PD and SiOB, and highly stepped patterning, and silicon mirror roughness and how-to-solve will be discussed.

Key Words : SiOB, MEMS, Si (111) mirror, PD, bulk micromachining, optical pickup

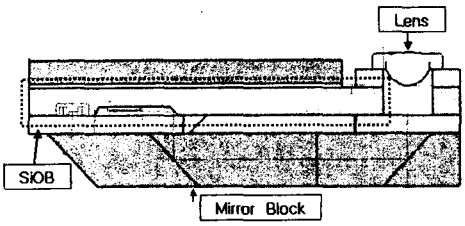
1. 서 론

모바일 정보기기에서 대용량 멀티미디어 서비스 사용이 증가함에 따라 대용량의 정보저장기기의 필요성이 증가되고 있다. 모바일 정보저장 기기의 대표적인 것으로는 DMB 폰과 personal multimedia player(PMP)가 될 수 있다. 모바일 정보기기가 요구하는 저장장치의 특성은 두께가 5mm 이내로 얇아야 되고, 저장용량은 4~10GB 에 도달해야 되며, 기타 사양으로는 저전력 소모와 착탈이 가능할 것, 면적도 가능한 작게 할 것, 저가격 등을 요구하고 있다. 모바일 저장기기로는 플래시메모리와 FRAM, MRAM 과 같은 고체 저장기기와 HDD, 광정보 저장기기의 세가지로 크게 나눌 수 있다.

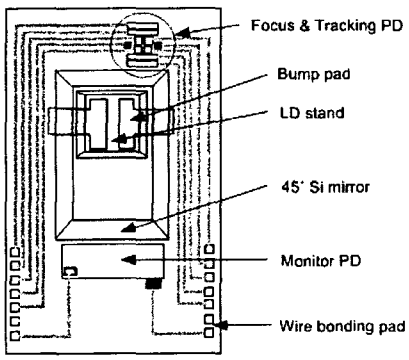
각각은 고유한 장단점을 갖고 있는데, 플래시 메모리가 속한 고체 저장기기는 크기가 가장 작고, 데이터 입출력 속도가 빠르고, 착탈이 용이하지만, 비트당 가격이 비싸고, 대용량으로 갈수록 가격에 있어서 다른 것들에 비해서 경쟁력을 상실하게 된다. HDD 는 얇은 두께로 제작이 어렵고, 디스크 착탈식이 아니라는 단점이 있다. 광저장기기는 비트당 가격이 낮아서 가격 경쟁력이 있으며, 저장밀도를 높게 할 수가 있고, 디스크 착탈식이고, 두께를 얇게 하는 것이 가능하다.

이 세가지 저장기기들은 각자의 장단점을 갖고서 고유의 시장영역을 차지하게 될 것으로 생각된다. 광 저장방식과 자기저장방식이 서로 결합된 heat assisted magnetic recording 방식은 저장밀도를 크게 높일 수 있는 것으로 현재 많은 연구가 진행 중이다. 이와 같이 광 저장방식은 미래에 다른 방식과 결합된 형태로 계속적으로 중요한 요소기술로 자리잡을 것으로 생각된다. 전세계적으로 광 초박형 광 저장장치를 연구하는 예로는 미국의 DataPlay 가 처음으로 두께 1cm 이고 적색 LD 를 사용하고 저장용량이 500MB 인 광 저장장치를 처음으로 발표한 적이 있다. 이 회사의 방식은 실리콘 기판 위에 포토다이오드 어레이를 형성한 후, 실리콘 미러를 형성하고, 그외 평면형 분광기와 홀로그램을 이 실리콘 기판상에 접합한 형태로 픽업을 구성하고 있다. 일본에서는 소니, 마쓰시타, 산요, 도시바 등에서 개발을 진행 중에 있다. 소니의 경우는 프리즘을 이용한 굴절형 광학계를 이용한 픽업을 구성하고 있으며, 마쓰시타와 산요는 실리콘 미러를 이용한 회절형 광학계의 픽업을 개발하고 있다.[3-6] 두께를 얇게 하기 위해서는 기존의 광 저장장치의 분리형의 경우처럼 대물렌즈와 분광기, 홀로그램, 레이저 다이오드와 포토 다이오드 등의 광학부품이 따로따로 존재하는 것 대신에, 이러한 광부품들이 평면 광학계내에서 집적된 형태로

†삼성전기 중앙연구소 eMD Lab.
E-mail : sms.choi@samsung.com
*삼성전기 중앙연구소 eMD Lab.
** 삼성종합기술원 MEMS Lab.
논문접수일 (2005 년 4 월 8 일)



(a) Cross sectional view of integrated pickup



(b) Top view of SiOB

Fig. 1 Schematic diagram of SiOB

존재하는 것이 요구된다. 실리콘 기판이 이러한 집적형 광학계에 적합한 재료로 생각되는데, 그 이유는 고품질의 45° 실리콘 미러를 습식 식각을 통하여 저렴하고 쉽게 얻을 수가 있으며, 이와 대향하여 표면과 단차를 갖는 LD 스탠드를 형성할 수가 있으며, 포토 다이오드를 기판에 직접 형성할 수가 있으며, 신호를 증폭할 수 있는 트랜지스터 회로를 일체형으로 구성할 수가 있기 때문이다. 작은 면적에서 저장용량을 높이기 위해서는 스폿 직경이 작은 청색 LD 를 사용하는 것이다. 레이저 빔을 가이드하는 분광기나 렌즈 등은 평면형으로 실리콘 기판 위에 결합시키는 것이 필요하다.

본 논문에서는, 9.74°-tilted 실리콘(100) 기판을 이용하여 45° mirror, LD 스탠드, 실리콘 pin PD 를 일체형으로 제작하고 청색 LD 를 flip chip bonding 하여 제작한 LD 일체형 SiOB 제작에 대하여 소개하고자 한다.

2. SiOB 구조 및 사양

SiOB 의 구조는 Fig. 1 에 묘사되어 있다. 45° 미러를 만들기 위하여 9.74° tilted Si(100) 웨이퍼를 사용하였다. 미러의 깊이는 140μm 이다. LD 가 결합되는 LD 스탠드는 기판 표면으로부터 70μm 깊이로 들어가 있다. 이것은 LD 에서 나오는 광을 미러의 정중앙에 모이게 하기 위해서이다. LD 스탠드에서 미러 방향으로 밑으로 70μm 이상 단차가 형성되어 있다. 이것은 LD 에서 나오는 빛이 타원형으로 퍼져 나오는데 장축방향이 깊이 방향으로 광 전체를 온전히 미러로 모이게 하기 위해서이다. LD 에서 빛이 나오는 출사면은 LD 스탠드로부터 2μm 위에, 그리고, 모서리에서 약간 밖으로 나와서 본딩되어 있다. 그 이유는 LD 에서 나오는 광을 LD 스탠드에서 반사되는 것을 피하기 위해서이다. LD 스탠드에는 양극과 음극의 두 전극 위에 Au/Sn 으로 이루어진 solder bump 층을 도금으로 형성하여 LD 가 플립칩 본딩된다. PD 는 기판 표면 위에 LD 스탠드와 실리콘 미러가 형성된 오목한 부분 위아래에 각각 8 분할 PD 와 모니터 PD 가 형성되어 있다. 8 분할 PD 는 광픽업에서 양옆의 장방형의 4 개의 PD 는 tracking error 를 검출하기 위한 것이고, 가운데 4 개는 focusing error 를 검출하기 위한 것인데, 검출방식에 따라 레이아웃에 변경은 있을 수 있다. 모니터 PD 는 LD 에서 출사되는 광의 일부를 잡아서 측정하여 LD 광출력을 일정하게 제어하기 위한 것이다. 8 분할 PD 와 모니터 PD 의 배치는 광학시스템에 따라서 그 위치와 크기가 달라질 수 있다. 8 분할 PD 와 모니터 PD 의 배선은 본드 패드로 연결되어 외부 회로와 와이어 본딩되도록 한다. LD 의 두 전극은 LD 스탠드에서 골짜기를 타고 넘어서 기판 표면위로 연결되어 본드 패드로 연결되도록 배선이 형성되어 있다. 금속배선은 PD 와 LD 모두 Al 을 사용하였다.

Table 1 Specifications of SiOB

category	item	specification
Silicon PD	sensitivity	>0.25A/W at 405nm
	bandwidth	>150MHz
	dark current	<10nA up to 5V
Si(111) mirror	accuracy	<±0.3°
	roughness	R(peak-to-valley) <50nm in 140μm
LD circuit	resistance	<5Ω from bump to pad
Flip chip bonding	x, y shift	<±3.5μm
	tilt angle	<1°

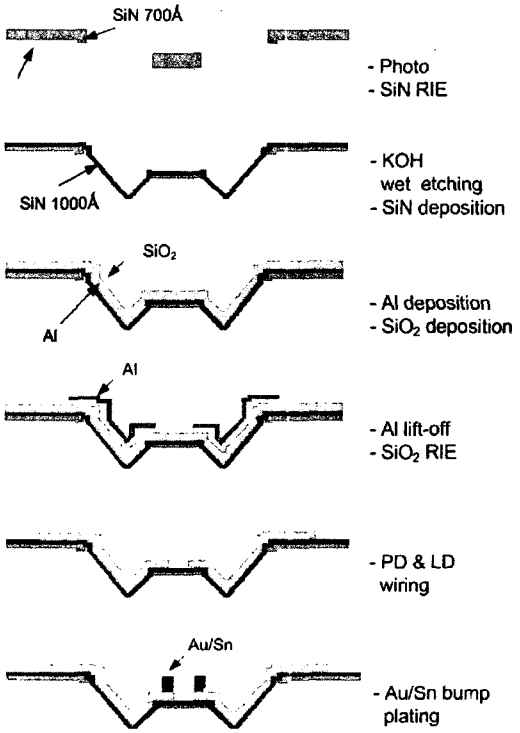


Fig. 2 SiOB fabrication process

Al 은 p+, n+-Si 층과 옴접촉을 하기 때문에 실리콘 PD 에서 주로 사용된다. LD 에서 나오는 광은 Si(111) 45° 거울면에 반사되어 기판에 수직한 방향으로 반사된다. 그림에는 표시하지 않았지만, LD 에서 나오는 빛의 일부를 모니터 PD 쪽으로 돌리고, 반사된 광을 꺾어서 광디스크에 초점을 맺게 하고 다시 반사되는 광을 8 분할 PD 쪽으로 되돌리는 평면광학계가 이 실리콘 기판 위에 접합되게 된다.

픽업에서 요구하는 SiOB 의 사양은 표 1 과 같다.

3. SiOB 제작 및 공정 문제점

SiOB 의 제작공정 플로우는 Fig. 2 에 나타내었다. SiOB 를 만들기전에 SiPD 를 제작하는 이유는 PD 를 제작 공정에서 900°C 이상의 thermal oxide 증착 공정과 확산 공정이 있어서 굴곡이 있는 웨이퍼의 경우 thermal stress 에 견디지 못하고 웨이퍼가 깨질 수가 있기 때문이다. PD 의 전극 배선으로 사용하는 Al 금속은 산이나 알칼리에 쉽게 용해되기 때문에 이것을 보호하는 것이 어려운 난제중의 하나이다. 이것을 해결하는 것이 PD 공정과

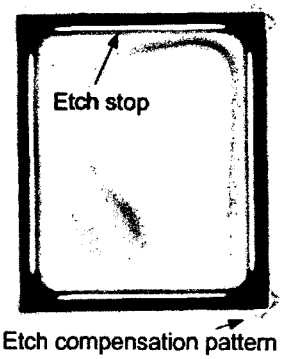


Fig. 3 Photograph of LD stand (KOH wet etching)

SiOB 공정을 융합시키는데 있어서 핵심 사항이다. 그리고, 이 SiOB 제작 공정에서 가장 어려운 것은 140μm 이상의 단차가 있는 영역에서 LD 배선을 위한 금속 전극을 패터닝하는 포토공정에서 금속 습식 식각까지의 일련의 공정이다. 또한 70μm 의 단차가 있는 영역에서 PR 을 포토공정으로 패터닝하는 것도 어려운 문제중의 하나이다. 기판 표면과 달리 오목한 부분에서 패턴을 만드는 것은 정밀도가 많이 떨어지게 된다.

Fig. 3 은 단차가 있는 경우에 AZ1512PR 을 spin coating 한 후에 모서리 부분에 보상 패턴을 갖는 PR 패턴을 형성한 모습을 보여준다. 단차가 있는 영역은 PR 막의 두께가 불균일한 모습을 보여준다 이것은 스핀코팅의 한계로 여겨진다.

PR 두께가 불균일하게 되면 많은 문제를 야기하게 되는데 모서리 부분에 PR 이 두껍게 코팅될 경우 PR 이 현상되지 않아 식각 정지선이 형성되지 않는 문제가 발생한다. Spray coating 방식은 굴곡이 있는 기판에 PR 을 일정한 두께로 도포할 수 있는 방법으로서 불균일 도포문제를 해결하기 위해 도입하였다. Fig. 4 에 보상 패턴을 갖는 마스크를 사용하여 스프레이 코팅한 경우 LD 스탠드의 모습을 나타내었다. 스핀코팅 방식보다 훨씬 더 장방형에 가까운 LD 형상을 얻을 수 있다.

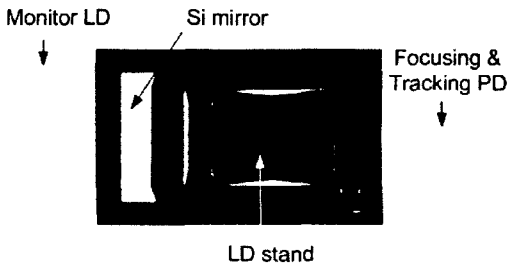
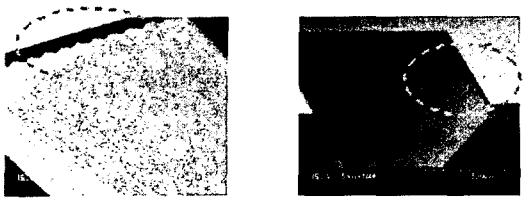


Fig. 4 Photograph of LD stand (using spray coating)



(a) spot size 0.5 ㎛ (a) spot size 0.1 ㎛

Fig. 5 SEM images of Si mirror plane

SiOB 에 요구되는 표면 거칠기는 140 ㎛ 의 에칭깊이에서 R_{P-V} 가 50nm 이하일 것을 요구한다. 표면 거칠기는 마스크의 스폿 크기, 결정면 방향과의 불일치, 식각 깊이, 웨이퍼 종류, 식각 조건 등과 같은 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다. Fig. 5 는 마스크의 스폿 크기에 대한 미러 면의 SEM 사진이다. 스폿 크기가 작을수록 표면 거칠기가 좋은 것을 알 수 있다. 이러한 표면 거칠기의 차이는 결정면 방향과 습식 식각 정지선의 어긋남으로 발생한다. 이러한 정렬오차는 직경 10 ㎛의 원형 어레이를 만들어서 습식 식각을 하면 사각형의 식각 패턴이 형성되는데 인접한 세개의 습식 식각선이 일치하는 것의 가운데를 결정면 방향으로 택하여 해결할 수 있다[7]. 미러 방향과 수직방향으로 LD 스탠드를 절단하였을 때 SEM 사진을 Fig. 6 에 나타내었다. 웨이퍼의 베이스 라인과 수직방향으로 6.82° 각도에서 Si(111) 결정면이 시작된다. 습식 식각 정지선을 이 선과 일치시키지 않고 마스크 패턴을 베이스 라인과 수직으로 형성시켰을 때는 Fig. 6 처럼 오버행 구조가 생긴다. LD 스탠드 위의 전극은 이 오버행이 생기는 영역을 지나게 되는데 배선을 끊어지게 하거나 저항을 높게 만드는 원인이 된다.

웨이퍼의 베이스라인과 평행한 방향은 Si(111) 미러면이 형성되는 방향과 일치하는데 습식 식각 정지선을 이것과 일치시켰을 때에는 Fig. 7 처럼 오버행이 형성되지 않고 경사면이 완만하게 연결된다.

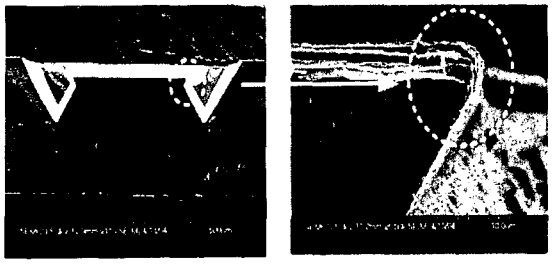


Fig. 6 Cross sectional view of SiOB trench (overhang occurred)

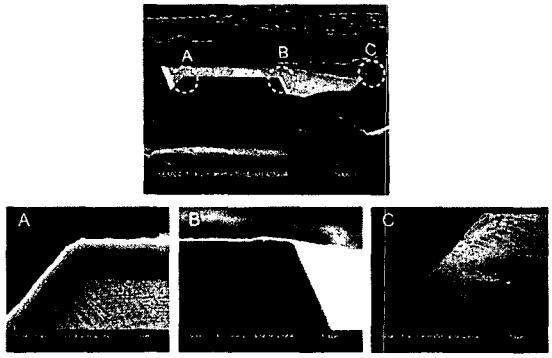


Fig. 7 Cross sectional view of SiOB mirror side

본 구조의 SiOB 에서는 기판 표면 위의 본딩 패드와 70μm 의 단차가 있는 LD stand 위의 전극 범프를 전기적으로 연결해줘야 한다. 이 전극 배선은 습식식각된 모서리부분과 150μm 이상의 깊은 골과 LD stand 의 습식 식각된 모서리 부분을 통과해야 한다. 이러한 깊은 단차가 있는 실리콘 기판 위에 PR 을 스핀 코팅하면 PR 이 전 영역에 걸쳐서 균일하게 도포되지 않는다. LD 스탠드 주위의 깊은 골에는 PR 이 두껍게 도포되고, 경사가 급격히 꺾이는 모서리 부분에 PR 이 거의 도포되지 않는다. Fig. 8 을 보면 모서리부분에는 PR 이 스핀코팅에 의해서는 거의 도포되지 않는다는 것이 나타난다. 이런 상태에서 밑에 있는 금속을 습식식각에 의하여 배선 패턴을 형성하고자 하게 되면, Fig. 9 과 같이 모서리 부분에서 금속 배선이 끊어지는

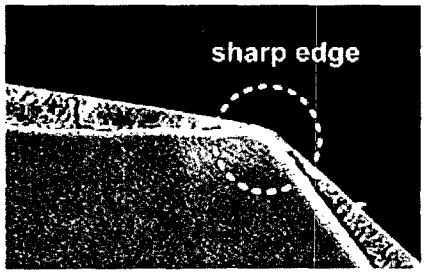


Fig. 8 SEM image of slant surface

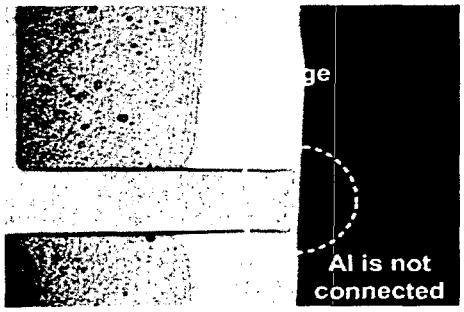


Fig. 9 Top view of trench interconnection

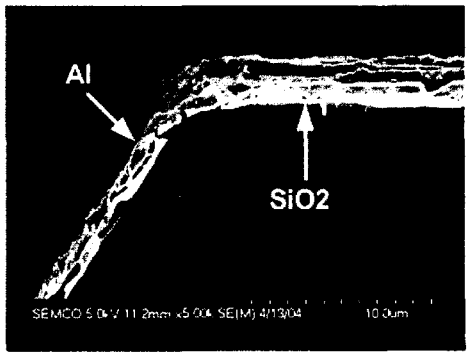


Fig.10 Cross sectional view of SiOB mirror side

Table 2 Measured characteristics of Si pin PD

Item	Value
Dark current	1nA
Capacity(PD)	2pF
Cutoff frequency(PD)	1.6GHz
Capacity (monitor PD)	2.5pF
Cutoff frequency(monitor PD)	1.27GHz

문제가 발생한다.

AZ1512 PR 을 사용하여 스프레이 코팅을 해서 경사면에 PR 코팅을 테스트해 본 결과 이중으로 도포를 하여도 경사면에 잘 도포되지 않는 것을 확인하였다.

일반적으로 스프레이 코팅은 굴곡진 단면에 PR 을 균일하게 도포해 주는 방법으로 사용되고 있는데, 본 연구의 경우에는 적용하기가 곤란하다. 그 이유는 70~150 μm 의 단차가 있는 영역에서의 PR 현상 시간이 기판 표면에서의 현상 시간보다 길기 때문에 현상공정에서 얇거나 혹은 거의 코팅이 안 된 모서리영역의 PR 이 떨어져 나가기 때문이다. 5.8~100μm 두께로 코팅되는 미국 Futurrex 사의 nega PR(NR5-8000, 8000P)로 스핀코팅을 해본 결과 모서리를 잘 코팅하는 것으로 확인되었다. 그러나 이 PR 의 정밀도는 선폭 10μm 로서 현 SiOB 는 배선 피치가 10 μm 로 ±2.5μm 의 정밀도를 요구하기 때문에 사용할 수 없다.

본 논문에서 제안한 고단차 패터닝 공정으로 패터닝한 후에 Al 배선의 단면을 SEM 으로 촬영한 결과는 Fig. 10 에 나타내었다. 모서리부분에도 Al 금속이 잘 덮고 있는 것을 볼 수 있다. Al 금속은 2.5μm 두께로 e-beam 으로 증착되었다. 본드패드와 LD 스탠드 위의 범프 패드 간의 Al 배선 저항이 약 2~3Ω 이 얻어졌다.

4. Silicon PD 제작

pin 구조의 실리콘 PD 를 n-실리콘 웨이퍼를 사용하고 p-implantation 공정을 이용하여 제작하였다. 실리콘 PD 어레이를 제작하는데 있어서 어려운 점은 8 분할 PD 의 경우 PD 사이의 간격이 10μm 로 매우 작아서 PD 사이의 전기적으로 단락이 일어나지 않도록 하는 것이다. 주의를 기울이지 않으면 작은 역전압에도 PD 사이의 단락이 일어난다. 또 다른 문제는 405nm 파장 청색에서의 감도를 0.25A/W 가 나오게 하는 것이 매우 어렵다. 이것은 p+-도핑층에서의 흡수가 커서 광손실이 크기 때문이다[1-2].

본 논문에서는 implantation 공정을 이용하여 제작한 결과, 30V 의 역전압에서도 소자간 단락이 발생하지 않는 것을 확인하였다. p+-층에서의 광손실을 줄이기 위하여 본 논문에서는 이중 implantation 공정을 통하여 p+ 층의 두께를 매우 얇게 하였다. Table 2 에는 제작한 실리콘 PD 특성의 측정치가 나와있다. 암전류는 5V 역전압에서 측정한 값이다. Cutoff frequency 는 정전용량으로부터 예측한 값이다.

Fig. 11 은 역전압에 따른 분할 PD 와 모니터 PD 의 정전 용량의 값을 보여준다. Fig. 12 는 전압에 따른 감도를 측정한 것이다. AR coating 은 Si_3N_4 로

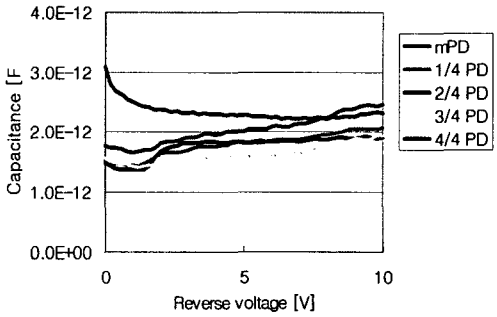


Fig.11 PD capacitance according to reverse voltage

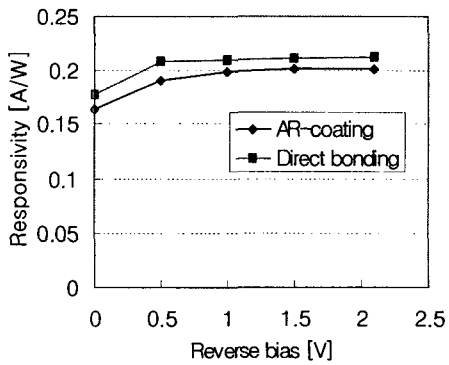


Fig.12 Responsibility of Silicon PD according to reverse bias

수광부에 코팅한 것이고, directing bonding 은 고저항 실리콘 웨이퍼와 저저항의 n-실리콘 웨이퍼를 접합한 후에 고저항 웨이퍼를 연마에 의해서 얇게 만들어서 공핍층을 형성하여 제작한 것이다. 감도는 0.2A/W 정도 얻어졌다. Directing bonding 도 비슷한 값을 준다.

5. LD 플립 칩 본딩

청색 LD 의 형상과 크기는 Fig. 13 과 같다. CW 로 구동시에 30mW 의 광출력을 갖고, 중심 파장은 405±5nm, 구동전류 70mA, 구동전압 4.5V, 방사 각은 수평방향으로 6.5-15°, 수직방향으로 21-31°의 각을 갖는다. 사파이어 기판 위에 제작된 것으로 양극과 음극 두 전극이 모두 기판의 동일 면에 형성되어 있다. 레이저 빔은 p-전극이 있는 단면 에서 타원형으로 나오게 된다. LD 스탠드 위의 두 전극에는 Au/Sn 의 합금으로 이루어진 솔더 범프 층이 두께 2μm 이상 형성되어 있다. Au 와 Sn 이 2:8 의 비율로 전해도금에 의해서 증착된다. 플립칩 본딩시의 접합온도는 280°C 이다. Fig. 14 는 LD 가 플립칩 본딩되어 있는 모습을 보여준다. SiOB 위의 본드패드와 PCB 의 본드패드는 와이어 본딩에 의하여 전기적으로 연결되어 있다. PCB 를 통하여 외부에서 전류를 주입하였을 때 LD 에서 나온 광이 실리콘 (111) 반사면을 통하여 외부로 출사되는 모습을 Fig. 14(b)에서 볼 수 있다.

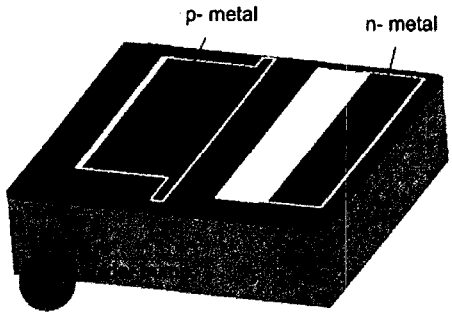
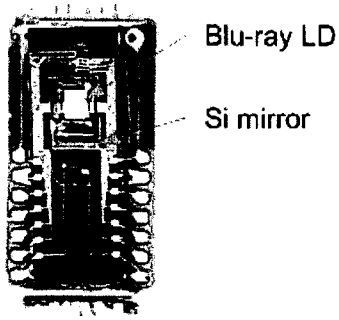
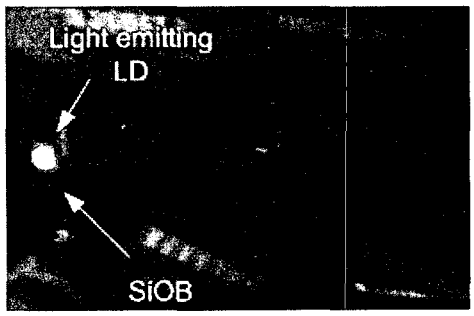


Fig.13 Schematics of blue ray LD



(a) SiOB mounted on PBS block



(b) Light emitting LD on SiOB

Fig.14 Photographs of packaged SiOB and light emitting LD

6. 결 론

벌크 실리콘 마이크로 머시닝 기술을 이용하여 9.74°-tilted 실리콘(100) 기판을 이용하여 45° mirror, LD 스탠드, 실리콘 pin PD 를 일체형으로 제작하고 Blu-ray LD 를 flip chip bonding 한 박형 광픽업용 SiOB 를 제작하였다.

기판으로부터 단차를 갖는 LD 스탠드 제작 공정과 LD 스탠드로부터 기판 표면까지 140μm 단차를 갖는 배선 공정을 개발하였으며, 실리콘 PD 와 벌크 마이크로 머시닝 기술과의 융합 시 발생하는 문제점 및 Si 미러의 제작에 대해서 고찰하였으며 해결방안을 제시하였다.

참고문헌

[1] Takeshi Yoshida, Yusuke Ohtomo, Masakazu Shimaya, 1988, "A Novel p-i-n Photodetector Fabricated on SIMOX for 1 GHz 2V CMOS OEICs," IEDM-98, pp.29-32.

[2] S.Holland and H. Spieler, 1990, "A Monolithically Integrated Detector-Preamplifier on High-resistivity Silicon," IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 37, No.2, pp.463-468

[3] Akio Yoshikawa, Hideyuki Nakanishi, Kunio Itoh, Takeshi Yamazaki, Tetsuo Komino, and Toru Musha, 1995, "Laser-Detector-Hologram Unit for Thin Optical Pick-up Head of a CD Player," IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part B, Vol.18, No2, pp.245-249.

[4] S. Ijima, H. Nakanishi, S. Takasuka, T. Takayama, A. Yoshikawa et al., 1999, " A novel highly Integrated red LDH(laser/detector/hologram) unit for high-density magneto-optical disk system, CLEO'99.

[5] S. kimura, T. shimano, M. Tokuda, K. Ishikawa and H. Sano, 2002, "A Module of a Blue-violet Laser diode and Photodiodes for Adaptive Compensatioln of spherical-Aberration," IEEE 2002, pp.25-27.
[6] H. Ishiguro, S. Kamimura, T. Higashii, M. hirose, A. Ueno, et al., 1996, "A Laser-Detector-Hologram Unit with IV Amplifiers and Built-in Micro-Mirror," Digest of Technical Papers, pp.330-332.
[7] G. Ensell, 1996, "Alignment of mask patterns to crystal orientation", Sensors and actuators A 53, pp.345-348.