

레이저 마이크로머시닝



신 용 진
(조선대 광특화연구센터장)



강 왕 기
(광주광역시청 통상협력과장)

1. 서론

1960년에 미국의 메이만이 루비를 유도 방출함으로써 최초로 발명한 레이저는 18세기 후반 맥스웰의 전자기파 이론과 1905년 아인슈타인의 광전효과 이론에 근거한 것이다. 레이저(Laser)라는 용어는 방사선 유도방출에 의한 광증폭(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)의 첫 글자를 합성한 단어이다. 이러한 레이저광은 보통 광과 비교하여 가질 수 있는 우위적 특징인 간섭성, 단색성, 지향성 및 고휘도 등이 있으며, 이러한 특징을 이용하여 다양하게 산업 전 분야에 응용장치로 활용할 수 있을 것이다.

20세기는 전자시대이고 다가올 21세기는 광자시대라는 명제를 붙일 수 있을 만큼 광산업에 있어서 레이저는 주변기기의 발전과 함께 레이저 응용기술도 놀랄 만큼 발전하여 통신, 정보처리, 가공, 계측, 의료, 생활 기기, 원자력 발전, 우주과학분야에 중요한 역할을 하고 있으며, 앞으로도 개발해야 할 범위도 무궁무진하다 할 수 있다.

광통신 발전의 흐름은 저 손실 광섬유 개발과 최저손실 영역에서의 레이저 개발 및 집적광학에 있다. 이때레이저광을 광학소자내의 도파광으로 바꾸는 역할은 매우 중요하며 능동소자인 반도체 레이저는 많은 정보량을 더 멀리 전송시키도록 다양한 종류가 개발되고 있다.

정보처리분야에서 레이저를 이용하게 되면 기존의 전자 공학적 방식에 비해 빠른 정보처리, 전파의 방해를 받지 않는 등의 장점이 있다. 따라서 고속 레이저 프린터, 레이저 COM 등 정보 산업용 기기에도 레이저를 이용한 기기 들이 개발 사용되고 있다. 특히 광기록 디스크는 아직 양산화 연구중인데 처리시간이 짧아서 컴퓨터의 대용량 기억장치에 이용되게 되면 컴퓨터의 보조기억장치는 모두 대체가 가능하게 될 것이다.

가공분야는 레이저가 발명되면서 에너지원으로서 제일 먼저 이용된 것이었다. 이는 레이저광의 특성 중에서 지향성과 에너지 집중도의 우수성을 이용한 것으로서 1996년부터는 전자, 반도체, 자동차 등 주요 산업의 제품 수준을 올리는데 핵심기술이 되면서 새로운 생산도구로 각광을 받기 시작하고 있다. 특히 용접, 절단, 천공, 마킹, 표면처리, 마이크로머시닝 등 산업 전 분야에도 광범위하게 응용되기 시작하여 레이저를 이용한 기술이 급속하게 진보해 오고 있다. 계측분야는 레이저의 단색성, 지향성, 간섭성 등의 특징으로 인해서 급속히 새로운 영역을 구축한 분야로 다른 방법으로는 측정할 수 없거나 어려운 것들을 해결할 수 있게 되었다. 레이저광을 이용하여 비접촉식 측정으로 기존 측정기의 측정에 따른 오차발생을 없게 할 수 있다. 따라서 레이저를 이용한 계측분야는 길이, 각도, 표면 거칠기, 속도, 온도, 밀도, 질량, 중력가속도, 측량, 기계 제어, 열팽창계수 등 수많은 레이저 응용개발이 진행되

고 있다.

의료분야에서는 레이저의 집속성, 간섭성, 고에너지의 특징을 이용하므로써 레이저 수술기, 레이저 응고기, 피부치료 및 미용, 레이저 칩술, 암치료 및 살균, 혈액유속측정, 내시장비 설계, 세포검사 등에 응용 될 수 있도록 다양한 분야에 그 가능성 및 적합성을 타진하고 연구가 진행중이다.

생활기기분야는 우리가 흔히 볼 수 있는 레이저 비디오 디스크는 레이저의 고휘도를 이용한 것으로서 대용량의 정보를 축적하여 오락, 출판, 상업 광고분야에 이용되며 앞으로 생활 기기 전반에 걸쳐서 발전할 가능성을 충분히 갖고 있다.

원자력 발전에서 핵분열에 따르는 방사능 오염이 없는 깨끗한 에너지원으로 핵 융합발전으로 관심이 집중되고 있다.

우주과학분야에서는 이미 아폴로 11호의 우주비행사가 달 표면에 설치한 레이저 반사경으로써, 그것을 향해서 지금도 세계 각지의 천문대에서 강력한 레이저를 발사하여 달 표면까지의 38만 km의 거리를 1m 이하의 정확도로 측정하고 있다.

그밖에 레이저의 평면파(plane wave)적 성질을 이용하면 공간에 발사해도 다른 사람이 도청할 수 없기 때문에 군사적 비밀통신 및 위성통신으로 이용할 수 있으며, 레이저의 고휘도성에 의한 미사일 방어 등 국방분야에 많은 발전 가능성을 들 수 있다.

본 고에서는 광정밀가공분야중 Semiconductor(반도체), Microelectronic(미소전자)분야에서의 레이저 마이크로머시닝 기술인 Trimming, Repairing of pattern ing, Marking, Scribing 등의 Engraving(미소량제거 가공)과 Micro-drilling(홀 가공)에 관하여 논의하고자 한다.

2. Engraving(미소량제거 가공)

레이저에 의한 표면가공법은 수 10 μ m 단위의 깊이제거를 대상으로 한 미소량 제거법, mm단위에 이르는 일정한 깊이의 표면제거를 하는 조각법 및 임의의 깊이제거를 하는 3차원 성형제거 가공법으로 나누어진다.

모든 분야에서의 소형화 추세에 따라 소형 휴대전화기 등 정보통신관련 부품, 각종 센서, 심장수술에 사용하는 stent와 같은 의료용 삽입물 및 의료용 수술기구, 소형 hard disk 와 같은 소형 기구물, 인공위성 부품 등의 미세가공 수요가 급증함에 따라, Laser direct imaging of photoresist, memory repair, component trimming, micromarking, fiber bragg gratings, stent fabrication, fluid nozzles and ducts 등의 다양한 레이저 미세가공기술은 다른 대체 기술이 없는 첨단 기술분야로서 급속히 부상하고 있다.

이러한 레이저의 다양한 응용기술의 예로서 그림1, 그림 2에 Nd:YAG레이저를 이용한 의료용 Stent와 엑시머레이저를 이용한 Optical fiber위의 Laser marking 사진을 나타낸다.

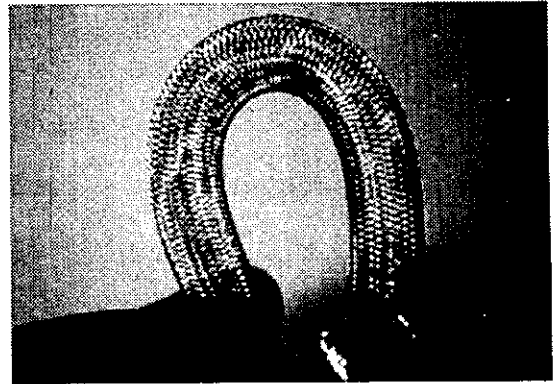


그림 1. 의료용 STENT(Nd:YAG Laser).

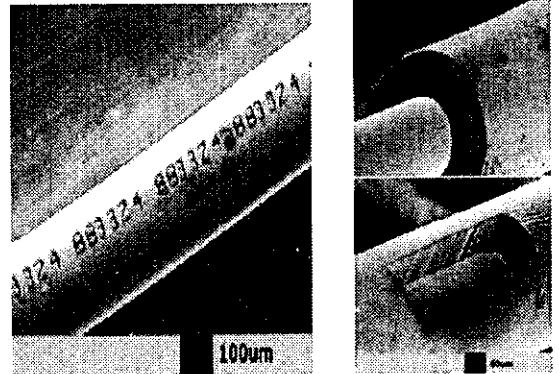


그림 2. Laser Marking on Optical Fiber (EXCIMER Laser).

2.1 Trimming Method

Hybrid IC중에 형성되어 있는 혹은 개별소자로서 후막 콘덴서의 정전용량이나 저항소자의 저항값을 정밀하게 조정 설정하기 위해서 행해지는 미소량제거 가공법(그림 3)이다. 정전용량의 크기는 유전체의 두께와 상부 및 하부 전극과 유전체와의 접촉면적으로서 결정되는데, 상부 전극표면에 하부 전극까지 도달하지 않는 정도의 출력 레이저를 스캔시켜, 상부 전극에 구멍을 뚫거나 절단하는 것으로 상부 전극의 면적을 축소함으로써 정전용량을 조정한다. IC중의 저항체의 저항소자는 기존 인쇄법으로 형성되면 정밀도 오차는 통상 $\pm 10\%$ 정도가 되나, 정밀한 IC제품에서는 1% 이하의 정밀도 오차가 요구되므로 종종 레이저 트리밍이 채용된다. 집광한 레이저빔으로 인쇄된 금속박막 저항소자에 notch를 넣어 전류가 흐르는 단면적을 작게 함으로써 저항값을 크게 조정할 수 있다.

2.2 Repairing Method

그림 4의 예에 나타낸 바와 같이 repairing method는 기판

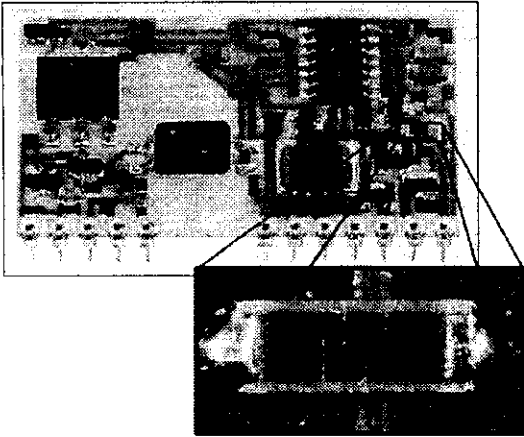


그림 3. Trimmed SMD resistor on hybrid circuit.

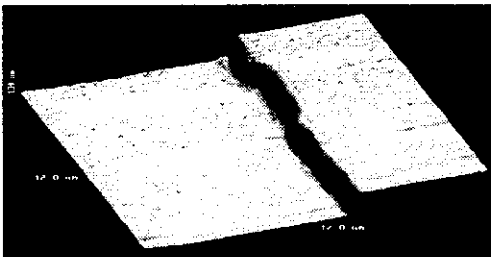
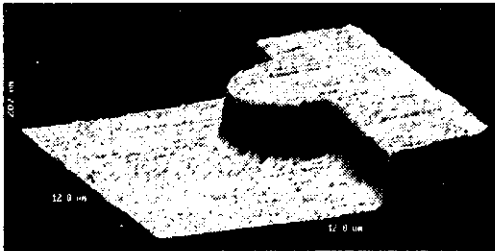


그림 4. AFM images of a chrome edge before and after repair. Note lack of roll-up and absence of glass damage.

위에 patterning 되어 있는 박막에 우발적으로 생긴 많은 박막부분을 집광 레이저빔으로 제거하고, 본래 불량품으로 있던 것을 재생시키는 기술이며, 주로 IC를 제조할 때에 사용하는 port mask의 불량부분을 수정하기 위한 기술로서 채용되고 있다.

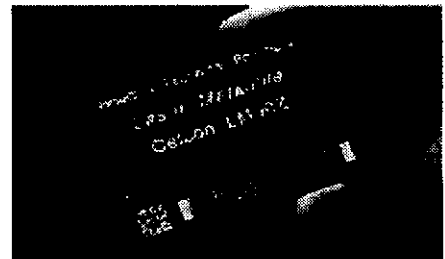
IC용 포트 마스크의 리페어링에서는 많은 부분을 제거할 때에 취급이 쉽도록 폭이 2~20 μ m 정도의 직사각형(치수조정 가능)으로 성형된 레이저빔이 사용된다. 성형된 빔을 직선부

분이나 corner 부분에 위를 정하여 레이저빔을 조사하면 해당 부분의 박막(주로 두께 0.1 μ m 정도의 크롬막)은 증발하여 제거된다.

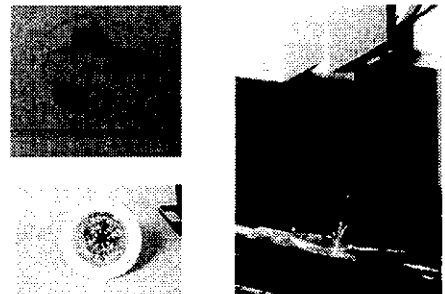
2.3 Marking 법

재료나 부품의 표면에 인식을 위한 문자나 패턴을 형성하는 기술이며, 그 가공의 형태는 제거가공인 조각형과 제거가공형이 아닌 체적 팽창형, 화학반응형 등이 있다. 고출력 레이저가 점차 개발됨에 따라 레이저를 이용한 가공기술은 급속히 진보되어 정밀도나 경제성 등 여러 가지 면에서 재래기술을 앞서고 있다. 특히 레이저빔의 우수한 에너지 지향성과 집중도로 인하여, 마킹이나 초정밀 가공 등의 분야에서 주요한 가공 도구로서 각광을 받고 있다. 특히 최근 반도체 제조 업체에서 레이저를 이용한 IC 패키지 마킹기술은 상당한 진척을 이루었고, 잉크 마킹이나 타각과 같은 재래기술을 급격히 대체하고 있다.

일반적으로 레이저 마킹에는 TEA CO₂ (Transverse Excitation Atmospheric) 레이저 (파장: 10.6 μ m), Nd:YAG 레이저 (파장: 1.064 μ m, 532nm, 355 nm), Ar 이온 레이저 (파장: 514nm, 488nm) 그리고 엑시머 레이저 (파장: XeCl 308nm, KrF 248nm, ArF 193nm) 등이 사용되고 있고 마킹의 형태 및 대상물질에 따라 열 적 상변위, 광·화학적 에블레이션, 염료의 색 분해 등과 같은 레이저빔의 물리·화학적 작용이 이용되고 있다. 그림 5에 레이저를 이용한 IC 패키지 마킹 예와 마킹사진을 나타낸다.



(a)



(b)

그림 5. CO₂/Nd:YAG 레이저를 이용한 마킹 (a) IC 패키지 마킹 (b) 마킹 사진.

특히 레이저마킹의 주된 응용 분야인 반도체 마킹에서는 TEA CO₂와 Nd:YAG 레이저빔의 열·화학적 작용을 이용한다. 또한 최근 반도체 시장에 버금가는 넓은 시장을 점유하고 있는 플라스틱 업계에서도 TEA CO₂와 Nd:YAG 레이저를 이용한 마킹 공정을 도입하고 있으며, 마킹 대상 물질의 다양성으로 인해 많은 응용 분야들이 새롭게 개발되고 있다. 이러한 플라스틱 레이저 마킹 공정에서는 (a) 대상물의 표면에 도포된 층의 에블레이션이나 제거; (b) 표면으로부터 모재의 에블레이션; (c) 발포나 용융 등에 의한 대상물 표층의 물리적 변화; (d) 대상물 표면의 색상 변화 등과 같은 레이저빔의 마킹 효과를 이용하고 있기는 하나, 주로 대상물 표층의 레이저의 열작용으로 인한 물리적 변화를 이용한다.

반도체 레이저 마킹은 Nd:YAG 와 CO₂ 레이저빔을 scanning mirror를 이용하여 이송하여 마킹하는 빔스캐닝 방식과 움직이는 물체에 바로 마킹하는 방식으로서 dot matrix 방법과 vector 방법이 있으며, 펄스형 Nd:YAG나 CO₂ 레이저빔을 이용한 마스크 방법과 연속발진 CO₂를 이용하는 plotter 방식 등이 있다. 기존의 Mask 방식은 scanning 방식의 속도가 증가함에 따라 마킹 품질이 우수한 scanning 방식으로, lamp-pumped Nd:YAG 레이저는 diode-pumped Nd:YAG로 대체될 전망이다. 각각의 다양한 응용방식에 관하여 간단히 소개하고 그림 6에 나타낸다.

2.3.1 Beam Scan 방식

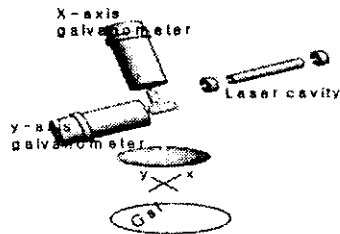
초점거리가 긴 집광렌즈를 사용하여, 렌즈와 재료 사이에 설치된 반사경에 회전시키면서 beam을 고속 스캔시켜, 마킹하는 방식으로 광범위한 마킹에 사용되고 있다. 이 방식에서 마킹위치에 따라서는 대상물 표면이 초점위치에서 벗어나는 단점이 있으나, 최근그 대책으로 마킹의 위치와 무관하게 렌즈 초점의 위치를 항상 대상물 표면에 유지하도록 보정하는 방식이 채택되고 있다. 그 결과 소스 혹은 대상물의 이동이 없이 300×300 mm 정도의 면적에 마킹하게 되었다. 이 방식에서는 주로 소스로서 Q 스위칭 Nd:YAG 레이저가 사용된다.

2.3.2 Mask 방식

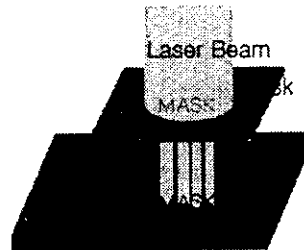
소정의 마킹 패턴에 구멍을 뚫은 얇은 금속판(mask)을 사용하고, 이 패턴을 통과한 레이저빔을 렌즈로 축소·집광하여 재료표면에 결상시켜 내어 붙이는 방식이다. 이 방식은 마킹 속도가 빠르나, 에너지 이용 효율이 나쁘고 빔의 출력밀도 분포가 균일하지 않을 경우, 마킹부분에 부분적인 얼룩이 생기는 단점을 갖고 있다. 최근 마킹시 발생하는 소음으로 인해 빔스캔 방식으로 대체되고 있는 실정이다.

2.3.3 Contact Mask 방식

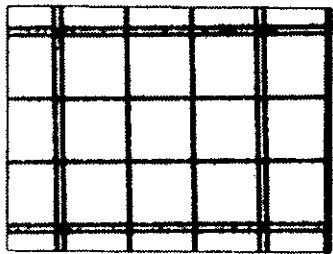
Beam scan 방식과 mask 방식을 조합시킨 방식으로 재료



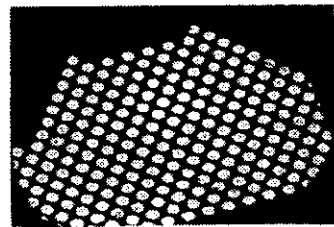
(a) Beam Scan 방식



(b) Laser Mask



Stainless Steel With grid pattern
23 μ m wide features with 5 microns depth.



Fragment of multi-hole pattern in
.001" thick PET.
Hole diameter is 100 μ m
Hole spacing is 150 μ m

그림 6. 레이저를 이용한 다양한 Marking 방식.

표면에 mask를 밀착 고정하여 집광된 레이저빔을 일정하게 미세한 pitch에서 고속 scan하는 용단폭격적인 마킹방식이다. 처리 범위가 넓고 마킹 패턴에 폭이 넓은 선이나 면이 있는 경우 대단히 유효한 방식이다. 그러나 이 방식은 마스크 방식에 비해 마스크가 쉽게 열변형을 받아 마킹의 정밀도가 저하되거나 마스크의 수명이 짧아지는 단점이 있다.

2.3.4 Scribing Method

레이저 Scribing 방법에는 크게 2종류로 분류되는 데, 마스크를 사용하여 원하는 부분을 증발·제거하는 방식과 원도의 패턴을 광학적으로 판독하고 그 신호를 레이저의 출력으로 변환하여 대상물에 복사 조각하는 방식이 있다. 가공 대상물에 따라서는 재료의 과도한 연소를 피하기 위해서 불활성 가스를 사용하기도 한다. 패턴 판독법에 의한 조각법은 종래의 수작업에 비해 작업시간을 대폭으로 단축할 수 있다.

3. Micro-drilling

무선전화기, PC, 통신장비, Internet server 등 전자부품의 소형화에 따라 오늘날 PCB는 대략 1,200개의 via hole을 갖고 있어 via hole 가공을 위한 미세가공용 레이저의 수요는 세계적으로 연간 8,500대에 달하며, 곧 30,000대까지 증가할 것으로 전망되고 있으며, 10 μ m 대의 정밀가공을 위해 짧은 파장의 자외선 레이저가 필요하며 diode-pumped solid-state laser(DPSSL)가 유지 보수 편의성 및 가공 품질 면에서 가장 유력시되고 있다.

지난 1984년 레이저를 이용한 via-hole 가공법을 미국 IBM사에서 고안하였으며, 급기야 1991년에는 레이저를 이용한 via-hole 공법을 체계화하여 SLC(Surface Laminate Circuit)라고 불리는 새로운 MLB 제조공법(일명 Build Up,

그림 7)을 전세계에 공포하기에 이르렀다. Build Up 공법은 레진코팅원판(RCC)이라는 최첨단 소재와 레이저 드릴이라는 장비를 활용하는 최첨단 MLB공법으로 이동전화기 같은 휴대형 정보통신기기용 PCB 제조에 가장 적합한 공법으로 평가받고 있다.

한편 1988년 독일 지멘스는 엑시머 레이저를 이용해 20층 짜리 MLB를 개발, 세계 PCB 업계를 놀라게 했다. 이후 레이저를 이용한 via-hole 가공법은 전세계 PCB 업계로 확산되었으며, 일본의 PCB 업체들이 이를 발전시켰다. 일본업체가 미국 업체를 제치고 이 분야의 선두자리를 확보하게 된 이유는 일본의 전자, 정보통신 등 세트업체의 전폭적인 지원과 협력이 있었기 때문일 것이다.

4. 결 론

전자부품의 소형화에 따라 기판의 conductor, resistor, capacitor를 레이저로 deposition 하는 새로운 시장도 신장세가 예상되며, MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)의 가공, MEMS+Optics 인 Micro Optical Electro Mechanical Systems의 가공, Medical Micro Systems의 가공 등과 관련하여 레이저 미세가공 시장은 급격히 성장할 것으로 전망된다. 또한 이러한 레이저 미세가공 시장의 신장과 관련하여 레이저 미세가공의 품질을 높이기 위해서는 주변에 열영향을 주지 않는 femtosecond laser의 활용이 예상된다.

레이저 마이크로 머시닝은 전자산업의 고부가가치를 창출하기 위하여 일본을 중심으로 한 레이저 천공장치부터 PCB 레이저 가공기가 채택되었다. 국내에서는 전자업체들의 이동전화기, 노트북 등 정보통신 산업이 급부상 하면서 이에 사용되는 PCB의 생산 및 수요량이 급증하면서 PCB용 레이저 천공 가공기가 도입되기 시작했다. 특히 최첨단 레이저 드릴장비를 활용하는 차세대 다층회로기판(MLB) 공법은 PCB 기판용 레이저 가공기는 국내 레이저 천공 시장에 급속히 보급·확산될 전망이다. 다층인쇄회로기판(MLB)은 평면적 배선부터 입체적인 배선이 가능하며, 특히 산업용 전자분야에서는 IC, LSI 등 기능소자의 집적도 향상과 함께 전자기기의 소형화, 경량화, 고기능화, 구조적인 전기적 통합기능, 조립시간 단축 및 원가절감 등에 유리한 제품을 생산할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] M. von Allmen, Laser Beam Interactions with Materials, Springer, Heidelberg (1987)
- [2] R. R. Tummala and E. J. Rymaszski, Microelectronics Packaging Handbook (Van Nostrand Reinhold, New York, 1989), Ch. 7-10

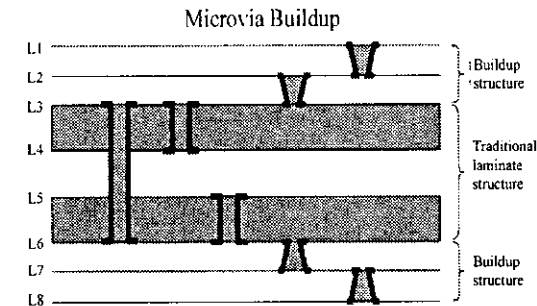


그림 7. Buildup technology enables microvias. The middle four layers contain through and blind vias manufactured using the laminate process, while the outer two layers are created using the buildup process.

- [3] M. Pecht, Handbook of Electronic Package Design (Marcel Decker, New York, 1991)
- [4] M. C. K. Chua, S. Rao, S. H. Tan and S. J. Chua, Proc. Asia Pacific Conf. On Optics Technology, Singapore, pp. 1-18 (1988)
- [5] G. Holzinger, K. Kosanke, and W. Menz, Optics Laser Technol. 5, 256 (1973)
- [6] H. Zetner, J. Packaging Prod. 26, 477 (1986)
- [7] L. H. Healy Jr., Proc. IEPS, pp. 392-398 (1984)
- [8] W. L. Arthur, Lasers Optronics 8, 51 (1989)
- [9] H. K. Benhard, Lasers Optronics 7, 61 (1988)
- [10] H. K. Benhard, Proc. SPIE 744, 185 (1987)
- [11] A. Matsunawa, Proc. SPIE 1502 (1991)
- [12] I. Boyd, Proc. SPIE 2045 (1994)
- [13] A. Carabelas, Proc. SPIE 3423 (1997)
- [14] D. A. Hill and D. S. Soong, J. Appl. Phys. 61, 2132 (1987)
- [15] K. F. Wissbrun, J. Appl. Phys. 62, 1123 (1987)
- [16] K. Law and G. E. Johnson, J. Appl. Phys. 54, 4799 (1983)
- [17] PCB세미나, 해진대학, (2000. 11.)

저자약력

성명 : 신 용 진

❖학력

1981년 고려대 물리학과 (학사)
 1986년 New York Univ. Dept. of Physics (석사)
 1990년 Polytechnic Univ. Dept. of Physics (박사)

❖경력

1991년-1993년 고리기술연구소, 연구소장
 1994년-현재 조선대 자연과학대학 물리학과 교수
 1998년-현재 ISO(국제표준화심의회) 전문위원
 1998년-2000년 한국물리학회 사업이사
 2000년-현재 조선대 광특화연구센터, 소장

※ E-mail : yjshin@mail.chosun.ac.kr

성명 : 강 왕 기

❖학력

1986년 전남대 행정대학원 (석사)
 1998년 일본 오사카시립대학 경영학과 (석사)
 2000년 전남대 산업공학과 (박사과정)

❖경력

1991년-1995년 광주광역시청 행정사무관
 1995년-1998년 일본 오사카시립대학 파견
 1998년-2001년 광주광역시청 경제정책과
 과학기술산업정책 담당
 현재 광주광역시청 서기관, 첨단산업과장