

# 광학 포커스

## 레이저(4)

※ 이 글은 광학기술처에서 시행한 특정연구개발사업의 연구보고서로서 한국표준연구소에서 연구한 '레이저 응용기술개발을 위한 사전 연구'에서 발췌한 것임을 밝힌다.

### 제3장 레이저 응용 분야의 세계적 현황

레이저의 응용 분야는 분류하기도 힘든 만큼 매우 많은 분야에서 이용되고 있으며, 계속적으로 개발되고 있는데,

- 계측 분야
- 광통신 및 정보 산업 분야
- 가공 및 광화학 분야
- 분광학 및 광산란 분야
- 의학 및 생물 분야
- 플라즈마 분야
- 균용

등으로 나눌 수 있다. 이와같은 응용 분야에 현재 선진국 등에서 개발중이거나 활용중인 응용에 대하여 좀더 자세히 살펴보기로 한다.

#### 제1절 계 측

##### 1. 서 론

레이저는 앞에서 기술한 바와 같이 좋은 특성때문에 계측

분야에 새로운 신기술을 열어 놓았다. 즉,

- 고 휘도성
- 고 단색성
- 간섭성
- 편광
- 반사 및 굴절
- 산란
- 흡수 및 발광
- 물질과의 강한 상호작용

등과 같이 레이저광만이 갖는 특성을 잘 응용하면 다른 방법으로는 측정할 수 없거나 측정하기 어려운 것들을 해결할 수 있게 되었다. 한국의 표준연구소(KSRI), 미국의 국립표준국(NBS), 독일의 연방물리기술청(PTB), 영국의 국립물리연구소(NPL), 일본의 계량연구소(NRLM) 등과 같은 각국의 표준 기관들은 거의 모든 정밀 측정 분야에 레이저광을 이용하고 있다. 특히 미터의 원기 유지나 질량 원기와의 비

교 측정, 전기 용량 측정 등과 같은 최고의 정밀도를 필요로 하는 측정 분야에는 예외없이 레이저광을 이용하고 있다. 또한 모든 산업 현장에서도 정밀하면서 고속의 측정을 요하는 분야에는 레이저 광 기술이 널리 활용되고 있으며, 계속적으로 새로운 응용 기술이 개발되고 있다.

이제 레이저 광계측이 갖는 특징을 기술하고 좀더 구체적으로 레이저광의 계측 분야 응용에 대하여 살펴보도록 하겠다.

##### 2. 특 징

레이저광을 이용한 측정 기술은 다른 방법에 비하여 다음과 같은 여러가지 장점을 가지고 있다.

가. 비접촉식 측정

레이저 빛을 이용하므로 접촉에 의한 측정력의 영향을 제거할 수 있다. 특히 표면 거칠기 측정에서는 기존의 표면 거칠기로 측정할 경우 주사하는 stylus tip에 의하여 새로운 거칠기가 발생할 수 있으며, 길이를 측정할 경우에는 만능 측정기의 경우 측정압을 무시할 수 없다. 그러나 레이저 광을 이용하는 측정에서는 이러한 불필요한 측정 오차 발생 여지가 없게 된다.

#### 나. 무 유도성 측정

레이저 빛으로 측정할 경우에는 EMI(electro-magnetic interference) 현상이 없이 측정이 가능하다. 고전류나 전기 용량 등을 측정할 때 EMI가 중요한 오차 요인이나 레이저를 이용할 경우 우선 이와 같은 영향을 제거할 수 있다.

#### 다. 고속 측정

레이저 계측 방법은 광원에 서 나오는 레이저 광속이 299,792,458m/s이므로 측정에 사용되는 센서의 감응도(responsibility)만 빠르다고 하면 측정 속도는 다른 방법들 보다는 훨씬 빠르다고 할 수 있다. 따라서 측정량을 생산 라인이나 다른 작동에 되먹임(feedback)시켜 자동화를 기할 수 있다.

#### 라. 고정밀 정확성

레이저로 측정할 때 가장 큰 장점중의 하나가 측정의 정밀 정확도가 높다는 데 있다. 예를 들면, 길이 측정의 경우 10<sup>-9</sup>m 까지도 가능하며, 중력 가속도에 응용할 경우 5×10<sup>-9</sup>정도의 정확도로 절대 측정이 가능하다. 또한 레이저로 유체 유속을 측정할 경우 기존의 Hot wire 방법보다 10<sup>4</sup>정도로 정확하게 측정할 수 있다.

#### 마. 고절연성

레이저 광속을 광섬유 등을 이용하여 절연시킬 수 있으므로 화학 반응의 영향이나 방사선 등 주위 영향을 받지 않으면서 측정이 가능하다.

#### 바. 고감도성

레이저를 이용할 경우 물체의 미세 변형량이나 울림판의 정현파 측정 등과 같이 극히 적은 물리적 변화량을 매우 민감하게 측정할 수 있다.

#### 사. 비파괴 측정

레이저 계측은 피측정물을 파괴시키거나 변질시키지 않고 측정이 가능하다.

#### 아. 공간 병렬 계측

레이저 광속은 서로 교차가 가능하므로 3차원의 공간적으로 병렬 계측이 가능하다.

#### 자. 원격측정

피측정물과 멀리 떨어진 상태에서도 측정이 가능하다. 측정자가 측정의 영향을 줄 수 있거나 접근할 수 없는 상태에서 측정을 요할 때 레이저 광 기술이 매우 유용하다. 예를 들면 원격 조정 천칭(Remote Controlled Balance)의 균형 위치 감지에 의한 정밀도 향상이나 방사선 위험 지역에서의 측정, 장거리 측정이 있다.

#### 차. 아날로그 및 디지털 신호 검출

측정되는 양은 아날로그나 디지털 신호 검출 모두 가능하므로 컴퓨터 입력이나 측정 장치의 매개변수와의 되먹임이 가능하다.

### 3. 종 류

레이저 계측을 좀더 세분화 하면,

- 정밀계측 - 길이, 각도, 표면거칠기, 속도, 온도, 전기량, 밀도, 질량, 중력가속도 등
- 공업계측 - 담긴 양의 측정, 비파괴 검사, 광섬유 센서, 측량, 기계제어 등
- 환경계측 - 공해, 산소농도, 원격탐사. 이온층, 해심 등
- 물성계측 - LMR, 열팽창 계수 등과 같이 대별할 수 있다.

표3-1은 정밀계측에 레이저를 이용하는 경우를 좀더 구체적

으로 보여준다.

중력가속도  $g$ 는 만유인력으로 인해서 지구상의 물체에 중력이 작용하여 생기는 가속도이며 과학과 산업에 있어서 물리량의 측정시 중요한 역할을 한다. 도량형을 보면 힘표준이

질량과  $g$ 로 결정되며, 전류의 단위인 암페어는 두코일 사이에 작용하는 힘을 비교하여 얻어지므로 암페어에서 유도되는 모든 물리량도  $g$ 값의 영향을 받게 된다. 또 압력은  $g$ 단위 면적에 작용하는 힘으로 정의되고 수은주의 압력도  $g$ 가

곱해지며, 이 압력은 온도 눈금의 fixed point를 실현하는데도 관련된다. 이와같이  $g$ 는 도량형 표준에 필수적으로 사용되고 있으며 이외에 중력 측정은 자원탐사, 지반조사, 항공산업, 방위산업 등 여러산업에 이용될 뿐 아니라 지구물리

표 3-1. 레이저 응용계측 분야

물리량 계측분야	측 정 방 법	레이저 광원
길 이, 변 위	간섭법, 헤테로다인법, 광속변조, 초단펄스법, 스펙클, 홀로그래피, 모아레 간섭법.	옥소안정화 헬륨 네온 레이저 및 기타 주파수 안정화 레이저, 초단 펄스레이저, 반도체 레이저, 진폭 및 주파수 변조 레이저
진 직 도 평 면 도	간섭법, 모아레간섭법, 홀로그래피	Zeeman 안정화레이저 및 기타 주파수안정화 레이저, 펄스레이저, 일반가스레이저, 반도체레이저
표면거칠기	광산란, 간섭법 스펙클	단일모드주파수안정화레이저, 펄스레이저, 반도체레이저, 가스레이저
진 원 도	간섭법, 홀로그래피 모아레 간섭법	Zeeman 안정화레이저, 주파수 안정화 레이저, 출력 안정화 레이저
각 도	오토콜리메이션, 간섭법 홀로그래피, 모아레간섭	반도체레이저, 주파수 안정화레이저, 출력 안정화레이저
진 동	간 섭 법	반도체레이저, 주파수안정화레이저
속 도	간섭법, 스펙클	주파수안정화레이저, 가스이온레이저, 반도체레이저
가속도, 중력	간 섭 법	주파수안정화레이저, 가스이온레이저
미립자크기및분포도	도플러, 스펙클 광산란법	가스이온레이저, 고체레이저, 헬륨 네온 레이저
회전수 회전속도	스펙클, 모아레간섭법, 헤테로다인법	고체레이저, 가스이온레이저, 헬륨 네온레이저, 주파수안정화레이저, 출력 안정화 레이저
비파괴계측및3차형상	홀로그래피, 모아레 간섭법, 간섭법	펄스레이저, 반도체레이저, 가스이온레이저
온 도	CARS, 광섬유센서	색소레이저, 주파수 가변 고체레이저, 반도체 레이저
유 량	LDV	반도체, 가스이온, 헬륨네온레이저
밀 도	간 섭 법	옥소 안정화레이저, 주파수 안정화 레이저
압력 및 진공도	간 섭 법	옥소 안정화 레이저, 주파수 안정화 레이저
광학및화학분석	OMA	색소 레이저, 주파수 가변 고체레이저, 가스레이저
전기량: 전류 자장, 전장, 전압	간섭법, 편광, 강도 및 주파수 변조법	반도체 레이저, 가스이온 레이저 가스레이저
Semiconductor industry 미소패턴인식	간 섭 법 광속 주사법	주파수 및 출력 안정화 레이저 반도체 레이저
환경계측:공해측정, 원격탐사 이온층관측	LIDAR	색소 레이저, 주파수 가변 고체레이저, 가스레이저, 반도체 레이저
플라즈마 진단	간섭법, 분광법	헬륨네온레이저, 주파수 가변 고체레이저, 루비레이저
물 성 측 정	LMR 등	주파수 가변 고체레이저, 색소레이저, 반도체레이저

및 측지학에 필수적으로 사용된다.

중력가속도는 절대 측정과 상대측정으로 나뉘어진다. 대부분의 선진국 표준 연구소에서는 레이저 간섭계의 원리를 이용한 절대 중력가속도 측정기를 자체 개발하여 사용하고 있으며 오늘날의 측정 수준은 자유낙체의 낙하거리를 레이저 간섭계로 정밀측정하므로서  $10^{-9}$  Gal의 정확도에 이르고 있다. 우리나라에서는 아직 절대 중력가속도의 측정에 관한 연구가 수행된 바 없고 일본에 의존하여 상대 측정에 의한 중력값을 받아 사용하고 있는 실정이다. 그러므로 우리의 과학 발전과 국내외의 자원 개발을 중요시되는 현실에서 기초가 되는 절대중력의 가속도 측정 연구가 시급히 중요시하는 현실에서 기초가 되는 절대 중력 가속도 측정 연구가 시급히 이루어져야 한다.

절대 중력가속도의 측정은 원래 reversible pendulum에 의하여  $10^{-5}$ Gal 정도의 정밀 측정이 가능하였으나, 1946년 Volet가 진공중에서 눈금 부자의 자유 낙하방법을 제안한 이후 새로운 방법은 물체를 위에서 낙하시키는 자유 낙하와 밑에서 위로 쏘아 올려서 다시 떨어지는 대형 자유 운동으로 나누어지며 사용 방법상 실험실 대형 구조에서 휴대용 형태로 발전하였다.

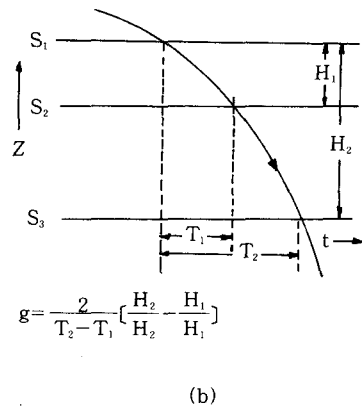
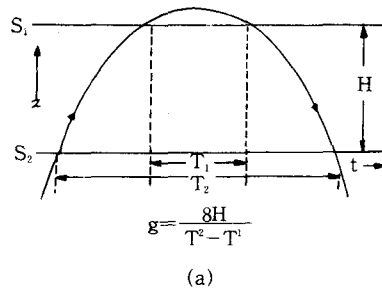


그림 3-2. 중력가속도 측정원리  
(a) 대형 자유 운동(symmetrical free motion)  
(b) 자유 낙하(free fall)

그림 3-2는 대형 자유운동과 자유 낙하의 방법으로  $g$ 가 계산되는 원리를 나타낸다. 절대 중력가속도계는 길이 측정을 위한 레이저 간섭계, 코너 반사경(corner reflector), 시간 측정시스템, 발사장치, 진공시스템, 항온시스템, 진도검출장치 등으로 구성되어 있으며 각 시스템 별로 측정기술이 발전해 감에 따라  $g$ 의 측정 정밀도가 향상되었는데 기본 구조를 이루는 간섭계 분야에서 레이저 광과장을 이용함으로

$5 \times 10^{-6}$ Gal의 정밀도가 얻어지고 있다. 대형 자유 운동은 시간 측정 및 진공의 잔유공기 저항이 제거 되는 장점이 있으나 반면에 발사 장치에 의한 충격이 방지되도록 하는 어려움이 있다.

이상에서 본 바와 같이 절대 중력가속도의 측정은 레이저를 이용함으로써 첨단 수준으로 발전하게 되었다.

그림 3-3은 레이저로 바다 깊이를 측정하는 것을 보여준다.

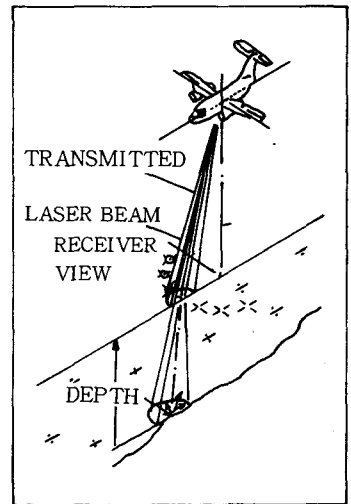


그림 3-3 레이저를 응용한 바다 깊이 측정

레이저를 이용한 물성 측정 방법 즉 물성 계측 중의 하나인 레이저 자기공명방법은 전자나 원자핵 등의 자기 모멘트와 외부 자기장과의 상호 작용을 이용하여 원자의 미세구조, 초미세구조 연구 및 결정 구조 연구 분야에 널리 이용되어온

표 3-2. 자기 공명 방법과 응용분야

분광기	사용 주파수	분 광 대 상	연 구 응 용 분 야
핵자기공명 (NMR)	Radio wave (10 <sup>6</sup> Hz)	원자핵 스핀I가 0이 아닌 모든핵	결정구조 연구, charge transfer 연구 등 다양
핵 사중극 공명(NOR)	Radio wave (10 <sup>6</sup> Hz)	핵사중극 모멘트를 가진 모든핵	물체의 분극을 측정, 결정구조 분석 연구 등
전자 스핀 공명(ESR)	Micro wave (10 <sup>9</sup> Hz)	스핀계의 스핀이 0이 아닌 원자	반도체 내의 결함 연구, Color Center 연구 등 다양
레이저 자기공명 (LMR)	FIR, IR Laser (10 <sup>10</sup> Hz- 10 <sup>13</sup> Hz)	각 운동량의 합이 0이 아닌 모든 이온, 분자기 (Radical)	이온, 분자기(Radical)등의 회전 및 진동에너지 상태 연구 등 응용범위가 확대중

첨단 과학 기술이다. 현재까지 연구되어온 자기 공명 방법에는 원자핵의 자기 모멘트를 대상으로 하는 NMR과 NQR 그리고 전자의 자기 모멘트를 대상으로 하는 ESR 등이 많은 분야에 이용되어 왔다. 그러나 분자의 회전 운동 상태나 진동 상태 에너지는 이제까지 연구되어온 자기 공명 방법의 사용 주파수 영역보다 훨씬 높은 레이저 주파수 영역이기 때문에

이들의 상태를 정확히 연구하기 위하여는 레이저 주파수를 이용하고 분자의 자기 모멘트와 외부 자기장과의 상호작용을 이용하는 레이저 자기 공명(LMR)분광기의 개발이 필요하다.

표 3-2에서는 현재까지 연구되어온 자기 공명방법과 LMR 방법의 차이점과 응용분야에 대하여 열거하였다.

LMR 분광기는 기존의 자

기 공명 분광기와는 달리 그 연구 대상이 분자, 이온, 자유기(free radical), 준안정 상태 등 지금까지 연구하지 못한 분야를 취급할 수 있는 것이 가장 큰 장점이다. 국내의 연구 현황을 살펴보면 외국의 경우 표3-3에 나타난 것처럼 선진 각국에서 LMR 분광기를 이용하여 회전 천이 및 마그네슘 원자의 준안정 상태 천이 연구 등을 활발히 추진중에 있다.

표 3-3. 선진 각국에서 LMR 분광기를 이용하는 연구 분야

국 명	연 구 기 관	연 구 내 용
미 국	NBS	LMR 분광기를 이용하여 여러 분자이온들의 순수한 회전천이 연구: HBr <sup>+</sup> , CO <sup>+</sup> , HCO <sup>+</sup> , HNN <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> , O <sub>2</sub> <sup>+</sup> 등
캐나다	NRC	Hydrogen discharge에서 발생하는 3원자 분자인 H <sub>3</sub> <sup>+</sup> 의 적외선 스펙트럼을 LMR 분광기를 이용하여 연구
영 국	University of Cambridge	Sulphur Radical의 회전 천이 연구를 최초로 LMR 분광기를 이용하여 연구:HCS, HCS <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> CS, CH <sub>3</sub> SH, CS <sub>2</sub> 등
독 일	Institute fur Angewandte Physik	광대역 적외선 LMR 분광기 제작 및 Faraday LMR 분광기를 제작하여 분자 radical ion 연구 SD, DCI, NO, HCO, HO, HO <sub>2</sub> , CF, FO <sub>2</sub> -radical 등

반면 국내에서는 NMR, NQR 및 ESR 등의 기존 자기 공명 방법을 사용하는 연구 인력은 있으나 아직 LMR 분광기를 이용 연구하는 학교나 연구기관이 없다.

이상에서와 같이 LMR 분광기는 첨단 과학 기술 연구 분야에서 꼭 필요한 연구 기재이다. 따라서 국내에서도 선진국 수준의 연구를 수행하기 위하여는 LMR 분광기의 개발이 시급한데, 국내에서도 이미 레이저 개발 및 안정화 기술이 선진국 수준에 도달하고 있고 이미 여러 자기 공명 분야의 전문 연구 인력이 있는 만큼 충분히 성공할 수 있을 것이다.

## 제2절 광통신 및 정보 산업

### 1. 서론

현대 사회는 정보 사회라 불리고 있으며 많은 정보가 생산되고 있고 정보를 잘 이용해야 하는 사회이다. 정보의 생산과 수요가 급속히 증가되고 있는 원인은 여러 가지가 있겠으나 그 중 중요한 요인을 아래와 같이 요약할 수 있을 것이다.

#### ○ 생활권의 확장

국내의 정보는 물론이고 중동에서 발생한 사소한 분쟁이 우리나라의 교역이나 물가에

직접 영향을 줄 정도로 지구촌 모든 지역의 정보를 알아야 하는 실정이다.

#### ○ 사회의 전문화

사회가 복잡해지면서 사회는 더욱 세분화, 전문화되고 있으며 자신이 종사하는 분야 이외의 전문 분야에 대한 지식은 정보 매체를 통해서 얻어야 한다.

#### ○ 정보 수요의 다양화

통신의 경우 음성 전달에 만족하던 단계에서 자료전달, 화상회의 등으로 정보서비스의 고급화가 요구되고 있으며 이러한 현상은 통신 뿐 아니라 일상 생활과 직접 관계되는 오디오, 비디오기기 등과 컴퓨터 성능 개선에 대한 요구 등에서도 나타나고 있다.

정보의 생산과 수요가 크게 증가됨에 따라 더 많은 정보를 더 빨리 다루어야 하는 필요성이 생기게 되었으며 레이저를 이용하는 광통신 및 정보처리 방식은 기존의 전자 공학적 방식에 비해 처리 속도가 빠르고 대용량을 처리할 수 있으며 전자파의 방해를 받지 않는 등의 장점이 있다. 따라서 각종 레이저의 출현과 광섬유의 발달을 통하여 기존의 전자공학적 방식의 한계를 극복하려는 연구가 활발히 추진되고 있으며 광학 산업의 시장 규모도 제1장 제1절에서 기술한 바와 같이 기하급수적으로 팽창될 것으로 전망되고 있다.

레이저는 정보를 받아들이고 처리하고 저장하고 전달하고 사람이 인식할 수 있는 형태로 표현해주는 출력 단계까지 전과정에 걸쳐서 이용될 수 있으며 중요한 분야는 광통신, 상처리 및 광 컴퓨팅(optical computing), 정보산업 기기 등으로 나누어 볼 수 있다. 아래에서 그 각각에 대해 좀 더 자세히 알아본다.

### 2. 광통신

오늘날 통신은 음성 통신에서 데이터, 화상 등 정보 서비스 기능이 다양해지고 있으며, 이와 같은 기능은 경제, 사회 활동의 많은 분야에 걸쳐 공헌하고 있다. 이러한 종합 정보통신 서비스 기능은 컴퓨터의 발달과 반도체 레이저, 광섬유를 이용하는 광통신 기술에 힘입어 급속히 발달하고 있다.

미국, 일본 등 선진 외국에서는 이미 상용화되고 있는 국간 중계 광전송 시스템 뿐만 아니라 가입자망, LAN (Local Area Network) 등 광통신 기술의 적용 확대를 위해 노력하고 있으며 나아가서 광스위칭시스템, 광정보처리 및 광컴퓨터 등 통신, 정보처리 시스템에 광기술 도입을 궁극적인 목표로 구성 요소 기술로서 반도체 광소자, 집적광학소자, 광섬유 등을 중점 과제로 연구

개발하고 있다.

이 가운데서도 반도체 레이저 등 발광소자 및 수광소자, 또 이들을 전자회로와 함께 반도체 기판위에 집적하는 광전 집적회로(OEIC) 기술, 고속 스위칭을 목표로 유전체 기판위에 집적하는 광집적회로(OIC) 기술 및 소자간의 광배선 기술, 시스템 구성기술 등이 공공기관의 주도하에 개발 추진되고 있다.

국내에서는 1970년대 말부터 광통신 분야의 연구가 활성화되기 시작하여 국간 중계 시스템 및 광섬유 분야는 80년대 중반부터 국산 상용화 단계에 이르고 있다. 광소자 분야도 1970년대 말부터 GaAs를 사용한 단파장 레이저 다이오드의 연구가 몇몇 대학을 중심으로 시작되었고, InP를 사용한 장파장 레이저 다이오드, 포토타이오드 및 파장 분할 다중화 소자(WDM) 등의 통신용 소자가 한국전자통신연구소에서 연구개발중에 있다.

광자 공학기술은 전자공학의 한계를 극복하려는 목적에서 개발 추진되어 왔으며, 정보화 사회에서 요구되는 막대한 양의 서비스의 요구와 이를 해결하기 위한 정보 통신 시스템의 정보 전송 용량 및 정보 처리 속도의 확대를 위해 필수 불가결한 기술로 인식되고 있다. 그림 3-4은 통신정보 시스템의 서비스 수요 및 통

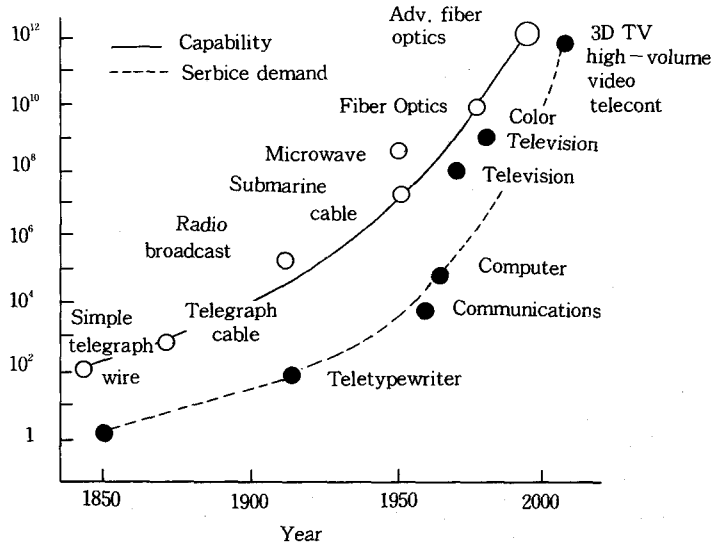


그림 3-4 정보통신시스템의 서비스 수요 및 기술 한계

[Communication Week, Feb. 24 (1986)]

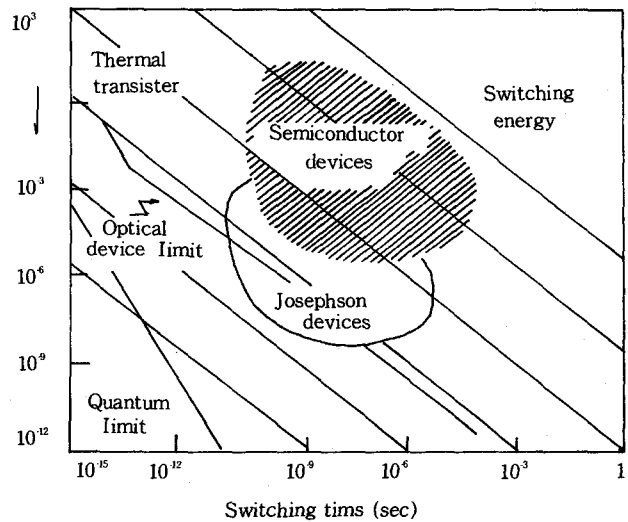


그림 3-5 전자소자 및 광소자의 성능한계

[Bell System Technical Journal 61, 1975 (1985)]

신 기술의 한계 용량을, 그림 3-5는 전자 소자 및 광소자들의 성능에 한계를 나타낸다.

### 3. 상처리 및 광컴퓨팅

레이저광의 가간섭성을 이

용하는 분야중에 홀로그래피를 생각할 수 있다. 재래식의 보통 사진에서는 빛의 강도 분포만을 기록하기 때문에 사진은 이차원적인 정보만을 제공하는데 비해 홀로그래피에서는 간섭성이 좋은 레이저광을 이용하여 빛의 진폭과 위상을 동시에 기록할 수 있기 때문에 기록된 물체의 정보를 3차원적으로 재생시킬 수 있다는 장점이 있다. 홀로그래피에서는 많은 정보를 작은 기록 매질에 저장할 수 있을 뿐만 아니라 광파장 수준의 미소 변형을 관측할 때에도 이용되며 미생물이나 진동체와 같이 움직이는 물체를 정지된 상태로 기록하여 입체적으로 관찰하는데도 이용된다. 홀로그래피 원리를 이용하여 제작되는 홀로그래피 광소자(HOE; Holographic Optical Element)로는 렌즈, 분광회절 격자 등이 주축을 이루고 있으며 이들 홀로그래피 광소자들은 재래식 광학 소자 대신 사용될 뿐 아니라 광학계 평가에도 사용되고 소형 광소자가 요구되는 집적 광학 등에서도 이용되고 있다.

광학적 방법에 의한 유형 인식(pattern recognition)을 특정한 형태의 정보를 선택적으로 인식하는 기술로서 문자 인식의 경우 여러 종류의 문자 중에서 원하는 문자가 있는 위치를 알려주는 광학적 장치의 구성이 가능하며 특정한 형태

의 제품이나 공구, 부품을 인식하는 장치는 공장 자동화에 응용될 수 있다. 유형 인식 기술은 지문 식별 등에도 활용되어 여러개의 지문중에서 특정 지문과 동일 또는 유사한 지문을 찾아내는데에도 활용될 수 있다. 광학적인 방법에 의한 결합 탐지 기술도 넓은 의미의 유형 인식에 속한다고 할 수 있다.

공간 주파수 여과에 의한 영상 처리에서는 그림3-6에서 보는 바와 같이 평면1에 물체를 놓고 레이저광으로 비추어주고 물체에서 나온 빛을 렌즈 L<sub>1</sub>을 이용하여 Fourier 변환시킴으로서 평면2에 공간 주파수 분포를 얻는다. 평면2를 지난 빛을 다시 렌즈 L<sub>2</sub>를 이용하여 Fourier 역변환시킴으로서 평면3에서 원래 물체의 상을 얻게 된다. 이때 상은 물체에 비해 좌우 상하가 뒤집힌 상태가 되면 렌즈 L<sub>1</sub>과 L<sub>2</sub>의 촛점 거리 비율에 따라 축소 또는 확대되게 된다. 만일 평면 2에 투과, 진폭과 위상을 조절해주는 필터를 설치하게 되면 평면 3에서 얻게 되는 상은 원래의 모양으로부터 필터의 영향만큼 달라지게 된다. 평면 2에 설치된 공간 주파수 필터가 광축 부근만 뚫린 구멍이라면 물체의 저주파 성분만 투과시키는 저주파 투과 필터로 작용하여 물체의 미세한 구조 변화나 잡음 등은 제거되고 큰

모양의 변화만이 강조된 상을 평면 3에서 얻게 된다. 반대로 평면 2에서 광축 부근만을 가리우는 고주파투과 필터가 놓여지면 물체의 모양중 가장자리에 해당하는 윤곽 부분이 선명하게 강조된 상을 평면 3에서 얻게된다. 저주파 또는 고주파 투과 필터 뿐 아니라 전체 주파수 중에서 원하는 대로 투과 진폭과 위상이 조절되는 다양한 공간 주파수 필터의 제작이 가능하며 이러한 공간 주파수 여과 방법을 이용함으로써 일정한 속도로 움직이는 항공기에서 찍은 사진 또는 촛점이 맞지 않은 사진을 선명하게 개선시킬 수 있으며 전기 광학 소자 또는 음향 광학 소자를 이용하여 물체에 공간적 변화를 줌으로써 실시간 신호 처리도 가능해지고 있다.

광컴퓨팅(Optical computing)은 현재의 전자 계산기에 의한 방식과 비교하여 병렬 연산이 가능하다는 장점과 속도가 빠르다는 장점이 있기 때문에 현재의 전자 계산기의 한계를 극복하기 위해 최근 활발히 연구되고 있는 분야이다. 미국 광학회(OSA), 국제 광학공학회(SPIE), 국제 전기전자공학회(IEEE)등에서 많은 논문의 발표회를 열고 있으며 미국의 경우 Bell Lab, 보잉사 등 여러 기업 연구소와 국가 연구소 그리고 대학에서 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 Col-



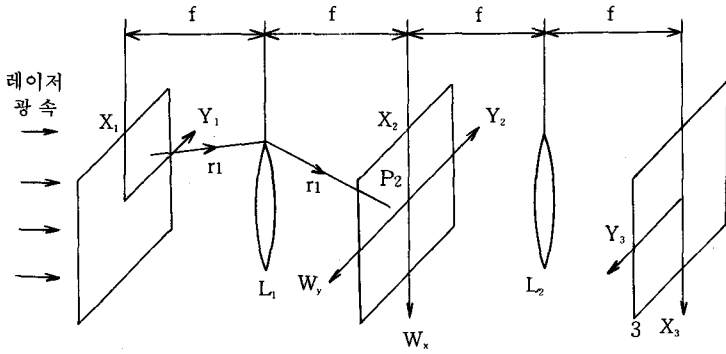


그림 3-6 광영상신호처리 시스템의 원리

orado 대학과 Colorado 주립 대학의 Center for Optical Computing System은 1987년 5월부터 5년간의 연구비로 1,450만불을 미과학재단 (NSF)으로 부터 받았으며 처음 3년 이내에 원리 증명 수준의 광영상 장치를 개발하는 계획을 세우고 있다.

#### 4. 정보 산업용 기기

사무용 기기와 가전 제품, 컴퓨터 주변 기기등에서도 레이저를 이용함으로써 재래식 방식에 비해 우수한 성능의 기기들이 개발 사용되고 있다. 대표적인 것으로 레이저 인쇄기, 바아코드 판독기(bar code reader), 팩시밀리, 콤팩트 디스크 등을 들 수 있으며 이들 제품들은 경제성이 있는 기기이므로 이미 국내 산업체에서도 연구를 수행하고 있으며 부분적으로 국산화 되어 있는 실정이다. 앞으로도 기업체 연구소를 중심으로 하여 국책 연

구소나 대학의 지원으로 연구가 계속되는 것이 바람직하다.

레이저 인쇄기는 대형 컴퓨터의 인쇄 출력 장치의 인쇄 속도를 높이고 장치를 소형화 하려는 목적으로 개발되었다. 레이저 인쇄기는 종래의 기계식 인쇄기와는 달리 기계의 소음이 없으며 속도가 빠를 뿐만 아니라 글자의 모양과 서식, 도표 등을 자유롭게 만들 수 있고 미세하면서도 선명한 인쇄를 할 수 있는 등 많은 장점이 있다.

바아코드 판독기는 레이저 주사 장치의 일종으로 바아코드 기호를 레이저광으로 읽는 기기이다. 바아코드란 숫자를 폭이 다른 여러개의 선들의 조합으로 나타낸 것을 말하는데 바아코드가 인쇄된 바아코드 라벨(bar code label)에 레이저광을 비추면 바아코드의 폭에 의해 반사된 광의 강도가 달라진다. 변조된 반사광을 광검출기로 검출하여 증폭해서 얻어진 펄스들을 신호 처리부

에 있는 디코더(decoder)에서 BCD(binary coded decimal)로 내보낸다. 바아코드 판독기를 사용하면 백화점이나 공장 등에서 재고관리를 자동으로 할 수 있다. 백화점에서 재고관리를 자동으로 할 수 있는 시스템으로 POS(point of sales)시스템이라는 것이 있다. 이것은 각 상품에 바아코드 라벨을 부착하여 고객이 산 물건이 레이저 스캐너를 통과하는 순간에 컴퓨터에 의해 상품의 내용, 가격 등이 계산되어 나온다. 한편 컴퓨터는 이 자료로부터 백화점의 재고품 상황을 실시간으로 계산하여 재고관리를 실시간으로 할 수 있다.

문자나 그림 등을 레이저 주사 장치로 주사하여 얻어지는 신호를 전송선을 통해 송신하고 수신하는 쪽에서는 받아들인 신호에 따라 인쇄함으로써 지역적으로 멀리 떨어져 있는 사람끼리 빠른 시간내에 자료를 주고 받을 수 있게 해주는 기기가 바로 팩시밀리 장치이다.

레이저를 이용한 정보의 기록 및 저장 방법을 지금까지 사용해오고 있는 테이프나 디스크에 비해 정보 저장 밀도를 높일 수 있을 뿐만 아니라 입출력 속도가 빠르고 보다 장시간 안전하게 정보를 저장할 수 있으므로 꾸준히 연구되어 오고 있다. 레이저를 이용한 정보 저장 방법으로서 레이저

오디오 디스크와 비디오 디스크를 빼놓을 수 없다. 레이저 디스크는 종래의 디스크에 비해 기계적인 접촉에 의한 재생이 아니므로 기계적 마찰음과 디스크와 바늘의 마찰에 의한 마찰 손상이 없을 뿐 아니라 흠집이나 먼지 등의 영향을 받지 않고 랜덤 액세스(random access), 느린 동작 (slowmotion), 정지화면 등을 쉽게 얻을 수 있다.

### 제3절 가공 및 광화학

#### 1. 레이저 가공

##### 가. 서 론

레이저는 1960년대 초에 그 이론과 실용적인 장치가 개발된 이래 그 연구와 개발은 매우 급속하게 발전하였으며 응용 분야에서도 광통신, 레이저 재료 가공, 계측 및 정보처리, 의학적 이용, 핵융합 연구 등 광범위하게 확대되었다.

레이저의 이용 방법을 크게 나누면 레이저의 물리적 성질을 이용하는 방법과 레이저 빔과 물질과의 상호 작용에서 발생하는 열을 이용하는 방법으로 나눌 수 있는데 레이저 재료 가공은 후자에 속하는 것으로 레이저의 높은 에너지 밀도 [ $10^3-10^9\text{W}/\text{cm}^2(\text{CW})$ ,  $10^7-10^{13}\text{W}/\text{cm}^2(\text{pulse})$ ]와 고도의 지향성을 이용하는 열가공이라 할 수

있다. 즉, 높은 에너지 밀도의 레이저 빔을 재료 표면에 조사하면 그 일부분이 흡수되어 열에너지로 변환되며 이 열에너지를 가공 목적에 따라 재료를 가열, 용융, 증발 또는 제거시키는데 이용하는 가공 방법이다. 따라서 레이저 재료 가공은 레이저 빔과 물질과의 상호 작용에서 중요한 매개 변수인 레이저의 파장, 에너지의 밀도, 레이저 빔의 특성, 열용량, 열전도도, 용점, 비등점 등 재료의 열적 특성에 따라 크게 좌우된다.

레이저 재료 가공은 1960년대 초에 루비 레이저를 이용한 얇은 금속 박막의 천공 등으로 그 가능성이 증명되었으며, 1970년대에는 고출력 레이저가 개발되고, 레이저가 실용화됨에 따라 레이저 재료 가공에 소요되는 비용이 상대적으로 감소하게 되어 레이저 재료 가공이 실제 산업계에서 이용될 수 있게 되었으며, 특히 1970년대 초에 연속 출력 수 KW CO<sub>2</sub> 레이저가 개발되어 "deep penetration"이 가능하게 되어 두꺼운 재료의 가공에도 레이저가 이용될 수 있게 되었다.

이러한 레이저 재료 가공은 비접촉 가공이며, 미세 정밀 가공이 가능하고, 재료 가공의 자동화가 용이한 점 등 여러가지 장점이 있을 뿐만 아니라 경제성 면에서도 종래의 가공

방법과 경쟁할 수 있게 되었으며, 반도체 산업에서의 미세 정밀 가공, 또는 세라믹 가공 등 종래의 가공 방법으로는 불가능하거나 곤란하였던 재료의 가공이 가능하게 되어 기계, 금속, 전자, 반도체 산업 등 여러가지 산업 분야에서 생산 공정에 새로운 가공 기술로 정착화되어 가고 있으며, 그 응용 범위가 다양하고 종래의 가공 방법에 비하여 우수한 장점들을 지니고 있어서 그 수요와 응용 분야는 계속 증가할 것으로 예상된다.

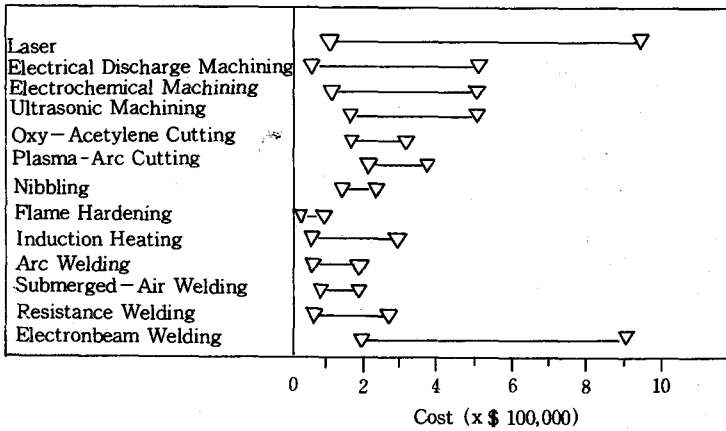
##### 나. 특 징

레이저 재료 가공은 레이저 빔과 물질과의 상호 작용에서 발생하는 열을 이용하는 가공 방법으로 종래의 가공 방법과 비교할 때 비접촉 가공이기 때문에 오염이나 기계적 변형 또는 기기의 마모 등이 없고, 집광 면적이 작기 때문에 미세 정밀 가공이 가능하며, 가열이 순간적이기 때문에 열가공임에도 불구하고 열 영향의 범위가 적으며, 레이저 빔의 편향을 이용함으로 가공의 자동화가 용이한 점 등을 대표적인 장점으로 들 수 있다.

한편, 레이저 재료 가공은 표3-4에 나타난 바와 같이 레이저 가공기의 가격이 아직은 고가이기 때문에 초기 투자가 높고, 레이저 가공에 필요한

표 3-4 가공에 따른 비용의 비교

[Lasers and Applications (1984)]



가공 실험 데이터가 아직 부족한 점 등의 단점이 있으나 이러한 단점들은 앞으로 레이저 재료 가공 기술의 향상과 더불어 극복될 수 있을 것이다.

다. 종류

레이저 재료 가공은 일반적인 재료의 가열, 절단, 용접 외에도 물체 표면의 아주 작은 부위에 정확하게 조절되는 많은 양의 에너지를 짧은 시간대에 조사할 수 있기 때문에 전자공학이나 반도체 산업에서

표 3-5 재료 가공에 사용되는 레이저

Laser	Wave-length (μm)	Operation mode	Pulse energy (J)		Pulse duration (sec)	Pulse rep. rate (pps)	Typical beam divergence (mrad)	Typical use	Remarks
			Typical	High					
Ruby	0.6943	Normal	5	120	$5 \times 10^{-4}$	1/30	5	spot welding hole drilling	multipulse 사용에 비경제적
		Q-switched	1	15	$1.5 \times 10^{-8}$	1/30	5	반도체 아날링	
Nd: Glass	1.06	Normal	10	300	$10^{-3}$	1/30	5	spot welding hole drilling	
		Q-switched	2	50	$2 \times 10^{-8}$	1/30	5	반도체 아날링	
Nd: YAG	1.06	continuous	$10^w$	$1000^w$	CW	-	5	금속의 표면경화, 용접절단,	compact, low power에서 경제적
		Normal	1	100	$10^{-3}$	100	5	spot welding, marking hole drilling, trimming	compact 경제적
		Q-switched	0.1	1	$1.5 \times 10^{-9}$	upto $5 \times 10^4$	5	반도체 아날링	
CO <sub>2</sub>	10.6	cont inuous	$300^w$	$6000^w$	CW	-	2	금속의 표면경화, 재료의 절단, 용접	high power 인 경우, 장비가 커짐, 매우 경제적인.
		TEA	2	400	$2 \times 10^{-7}$	upto 300	5	hole drilling marking	장비가 크나 경제적인
		High-voltage pulsed	0.75	0.75	$5 \times 10^{-4}$	200	4	용접, 천공, scribing	

도 이용되며, 가공하려는 재료의 특성과 목적에 따라 표 3-5과 같이 여러가지 종류의 레이저가 재료 가공에 사용된다.

레이저 가공기는

- 1) 레이저 광속 발생 및 제어장치
  - 2) 레이저의 집속
  - 3) 레이저의 공물로 광속의 이동
  - 4) 가공을 위해 광속 또는 피가공물의 이동
  - 5) 효율적인 가공을 위한 부속 장치로 되어 있다.
- 그림 3-7은 보조 기체를 사용하는 레이저 절단기의 구조도이다.

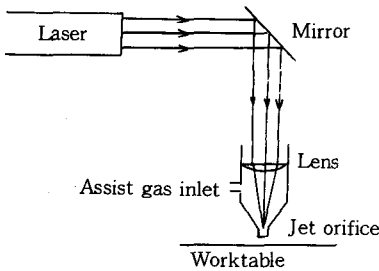


그림 3-7 보조 기체를 사용하는 레이저 절단기 구조

레이저 재료 가공 분야를 크게 나누면 Micro-materials processing과 Macro materials processing 등 두 가지로 분류할 수 있다.

### 1) Micro-materials processing

레이저에 의한 micro-mat-

erials processing은 가공 대상이 얇은 박막 등 특수 목적의 재료로서 매우 정밀한 규격이 요구되는 재료의 가열, 절단, 용접 및 천공 등을 의미하여 실제적인 응용은 박막 저항의 트리밍 실리콘 웨이퍼 등의 laser scribing, 반도체 아닐링, laser marking 등 다양하다.

이때 레이저는 재료의 특성과 가공 목적에 따라 여러가지로 사용되는데 주로 낮은 에너지의 Nd-YAG 레이저와 CO<sub>2</sub> 레이저가 사용되며 이중에서 레이저광의 집속 문제와 흡수 문제 때문에 반도체 산업에서는 Nd-YAG 레이저가 많이 사용된다.

최근에는 집적회로 제조 과정에서 Photomask상의 기하학적 형상을 반도체 웨이퍼 상의 Photoresist로 옮기는 작업인 리소그래피에도 레이저(주로 Eximer laser)를 응용하려는 연구가 진행되고 있으며 곧 실용화될 전망이다.

### 2) Macro-materials processing

레이저에 의한 micro-materials processing은 주로 고출력 레이저(연속출력 수백 W~수KW)를 이용한 금속 또는 비금속의 일반적인 가열, 절단, 용접, 천공 및 표면 경화 등을 의미하여 레이저는 펄스 또는 연속 출력으로 작동하

는 Nd-YAG 레이저와 CO<sub>2</sub> 레이저가 많이 사용된다.

### 2. 광화학

최근에 와서 반도체 소자의 극미세화와 고집적화에 수반해서, 소자의 제조 공정도 더욱 저온화가 요구되고 있다. 그러나, 현재 널리 쓰이고 있는 저온 성장법인 플라즈마 CVD (Chemical Vapor Deposition)법은 Source gas의 glow 방전을 이용한 플라즈마 분해법이므로, 하전 입자에 의한 기판 표면의 손상이 문제가 되며, 또한 미세 부분만의 박막 성장이 곤란하다는 점이 지적되고 있다. 이와같은 결점을 보완하는 방법으로 레이저 유기 CVD법이 연구되고 있으며, 특히 1970년대에 엑시머 레이저가 개발된 이후 레이저가 개발된 이후 근년에 와서는 UV lamp를 사용하는 기존의 photo CVD를 대체하기에 이르렀다.

레이저 유기 CVD법은 기존의 CVD법과 같이 진공 chamber속에 샘플 기판을 넣고 증착하려는 물질의 유기 화합물을 기체 상태로 주입시키나, 기체 분자를 분해시키는 과정에 있어서 레이저광을 사용한다는 것이 다른 점이다. 일반적으로 레이저에 의한 기체 분자의 여기 및 분해 메카니즘에는 크게 두가지가 있는데, 첫

재는 기관이 레이저광을 흡수하여 표면 온도를 상승시켜 열분해(pyrolysis)를 일으키는 것이고, 둘째는 기체 분자가 직접 광자를 흡수하여 여기되어 광분해(photolysis)를 일으키는 것이다. 특히 전자의 경우는 기관의 광학적 성질(흡수계수, 반사율) 및 열적 성질(열전도도) 등이 표면 온도 분포에 영향을 끼쳐 반응에 영향을 주나, 후자의 경우는 기체 분자의 흡수선 영역 등이 영향을 준다.

레이저 유기 CVD의 주요 변수로는 공간 분해능과 반응 속도를 들 수 있다. 공간 분해능은 얼마나 미세한 영역에 증착할 수 있는가를 나타내며,

주로 주로 레이저광의 spot 사이즈에 관계된다. 파장 $\lambda$ 이 레이저광이 초점거리가  $f$ 이고 구경이  $a$ 인 렌즈에 의해 집속될 때 광속의 크기는  $W_0 = (2f\lambda/\pi a)$ 로 주어지므로 단파장의 레이저와  $N.A$  (numerical aperture  $a/f$ )가 큰 렌즈를 사용하면 spot size 를 작게 할 수 있다. 또한 미세한 반응 영역에서 여기된 기체 분자들은 반응 영역 밖으로 퍼져나가게 되므로 완충 기체를 주입시켜 여기된 기체 분자의 평균 자유행로를 짧게 해주어 분해능을 증진시킬 수 있다. 특히 주목할 것은 열분해에 의한 증착에서는 반응 속도와 온도 분포 사이에  $R(x) = \exp[-E_a/kT(x)]$

인 비선형성이 존재하기 때문에 광분해보다 더 좋은 분해능을 얻을 수 있다.

일반적으로 반응 속도는 반응 영역에 공급되는 재료 기체 분자의 flux와 관계 있다. 열분해의 경우 레이저 유기 CVD는 반응영역이 미세하기 때문에 3차원적으로 flux를 공급받게 되나, 보통의 열 CVD (thermal CVD)에서는 반응영역이 넓은 평면이기 때문에 1차원적으로 flux가 공급된다. 이러한 이유 때문에 레이저 유기 CVD의 반응 속도는 열 CVD보다 대략 $10^3$ 배 증가하게 된다.

### '91 일본 카메라쇼 개최일정안내

開 催 地	テ ー マ	開 催 期 間	共 催 新 聞 社
東 京	高 島 屋	2月 28日(木)~3月 5日(火)	
大 阪	高 島 屋	3月 21日(木)~3月 26日(火)	
名 古 屋	丸 榮	4月 4日(木)~4月 9日(火)	
福 岡	玉 屋	4月 17日(水)~4月 22日(月)	西 日 本 新 聞 社
札 幌	玉 番 館	5月 22日(水)~ 5月 27日(月)	北 海 道 新 聞 社
仙 台	タツクシテイ丸光	10月 2日(水)~10月 7日(月)	河 北 新 報 社
鹿 兒 島	山 刑 屋	10月 16日(水)~10月 21日(月)	南 日 本 新 聞 社