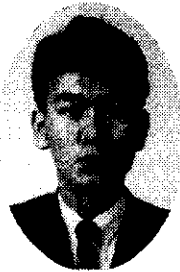


파장변환에 의한 적외레이저의 산업응용 및 기술동향



김 정 호
(한국광기술원)



서 연 호
(주) 네오 레이저



박 용 필
(동신대 전기전자공학부 교수)

1. 서 론

광의 단색성, 지향성 및 극초단 펄스 등의 우수한 성질을 이용한 레이저는 광통신, 금속 세라믹 공작 및 토목 측량의 공학적 응용, 분광학 및 비선형 광학의 자연과학 연구, 외과 수술·진단의 의학적 응용 등 여러 산업에 폭 넓게 응용되고 있다. 특히, 레이저광을 에너지원으로 이용하는 레이저 가공분야는 철강, 비철금속, 세라믹, 기계부품 및 전자소자제조에 이르기까지 다양한 산업에 널리 이용되고 있다.

이와 같은 레이저광의 파장은 적색으로부터 청색, 청색으로부터 자외선으로 갈수록 그 파장이 짧고, 단파장 일수록 전자에너지가 커지며 이로 인하여 집광성 및 물질과의 반응성이 우수하여 특히 용접 및 절단과 같은 레이저가공에 매우 적합한 것으로 알려져 있다.

본고에서는 자외선광을 중심으로 자외선광 발생을 위한 파장가변 고체결정 및 결정의 재료특성에 대하여 간단히 소개하며, 자외선광을 이용한 산업응용의 예를 설명하고, 전고체 적외선레이저의 산업화에 선결 과제로 여겨지는 비선형 광학결정의 연구보고 및 동향을 소개한다.

2. 파장가변 고체레이저 결정(Laser Crystal)

파장가변 고체결정은 광의 흡수·방출을 행하는 활성중심과 이들을 고체 중에 고정시키기 위한 취환격자점을 제공하는 호스트로 구성된다. 파장가변 고체결정의 활성중심에는 희토류 또는 천이금속 등의 이온을 직접적으로 이용하는 방법과 호스트결정칼라센터를 간접적으로 이용하는 2가지 방법이 있다. 본 장에서는 열적 및 화학적으로 안정한 형태로 실용에 널리 사용되어지고 있는 희토류 및 천이금속 이온을 발광이온으로 이용하는 파장가변 고체결정에 대하여 최근의 연구보고를 소개하며 결정들의 재료특성들에 대하여 간단히 소개한다.

파장가변 고체결정의 연구호름을 재료적 관점에서 볼 때 1980년에 알렉산드라이트($\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$)를 이용한 실용 파장가변 레이저 발전[1]을 시작으로 수많은 새로운 고체결정이 연구보고 되어졌다. 그 외 발전이 보고되어진 천이금속의 활성이온으로서 Ni^{2+} , Co^{2+} , V^{2+} , Cr^{3+} , Ti^{3+} , Cr^{4+} 등이 있으며, 최근에는 Cr^{2+} 뿐 아니라 희토류 이온으로서 자외영역까지 발전하는 Ce^{3+} 첨가결정에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 표 1에 주요 천이금속 이온 첨가결정의 발전파장특성을 정리한다.

표 1. 주요 천이금속 이온 첨가결정의 발전파장특성.

Transition	Ion		Host	Absorption (nm)	Lifetime	Tuning range (nm)	Laser mode	Reference
	RT	LT						
3d ¹	Ti ³⁺		Al ₂ O ₃	400-600	3.1 μs	680-1100	Pulse, CW	2
3d ²	Cr ⁴⁺		Mg ₂ SiO ₄	800-1200	3 μs	1130-1360	Pulse, CW	10
3d ³	Cr ³⁺		LiSrAlF ₆	380-520, 550-750	67 μs	780-1010	Pulse, CW	9
			V ²⁺	MgF ₂				
d-d					2 ms	1050-1300	Pulse, CW	22
3d ⁴	Cr ²⁺		ZnSe	1400-2100		2000-3000	Pulse	23
3d ⁷	Co ²⁺		MgF ₂	1100-1600	40 μs	1800-2450	Pulse, CW	24,25
3d ⁸		Ni ²⁺			10 ms	1600-1800	Pulse, CW	24,26
			MgF ₂					
f-d	4f-5d	Ce ³⁺	LiSrAlF ₆	250-280	30 ns	280-320	Pulse	21

2.1 Ti 첨가 결정

Ti³⁺ : Al₂O₃ (티탄 사파이어)는 근적외범위에서 넓은 범위의 발전이 확인(2)된 이래 뛰어난 열전도율의 특성을 충분히 살린 파장 가변결정으로 널리 사용되어지고 있는 결정 중 하나이다.

결정육성법은 유도가열형 초코랄스키(이하 CZ)법(3), HEM (Heat Exchange Method)법(4)과 브리지만법(5)이 있다. 이중 CZ법은 육성결정 중에 Ti³⁺ 외에 Ti⁴⁺이온이 혼입되기 때문에 육성된 결정은 수소 기류하에서 용점 가까운 온도 약 200 oC에서 환원 열처리에 의하여 얻을 수 있다.

Ti³⁺이온은 산화물결정 내에 육배위격자점에 위치하기 때문에 결정 내 이온환경의 문제로 파장 동기발전까지 확인된 것으로는 Al³⁺사이트에 이온이 위치한 사파이어, 그린 벨리(BeAl₂O₄)(6) 뿐이고 YAIO₃(7)는 가시영역에서 파장 동기발전이 기대되지만 실현되지 않고 있다. 이는 발전파장영역에 기생 흡수가 존재하는 것이 주요 원인으로 이것이 발전효율 저하에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이 흡수가 발생되는 원인으로 아래의 2가지를 들 수 있다. 하나는 Ti³⁺ 이온간의 페어링으로 이는 사파이어 결정에 의한 기생 흡수가 결정 중의 전 Ti (Ti³⁺ + Ti⁴⁺)농도의 2승에 비례한다는 것에서 제안되어지며 또 하나는 2가 이온의 존재 Ti³⁺이온 이외에 Ti²⁺이온이 결정 중에 존재하기 때문으로 생각된다.

2.2 Cr 첨가 결정

Cr을 첨가한 결정에는 알렉산드라이트(Cr⁴⁺)에 이어 1987년에 Cr⁴⁺에서의 발전이 확인되었고 최근에는 Cr²⁺에서의 가능성이 기대되며 아래에 이를 이용한 파장가변용 결정재료에 대해 소개한다.

2.2.1 Cr³⁺ : LiSrAlF₆

Colquiereite구조를 가지는 불화물 결정 Cr³⁺ : LiCaAlF₆의 발전이 보고(8)된 이후 같은 계열의 LiSrAlF₆이 보고되었다(9). 이들의 결정은 알렉산드라이트에 대표되는 산화물 결정에 없는 다음과 같은 특징을 가지고 있는 것으로 알려져 있다.

- Cr³⁺ 치환 사이트인 Al³⁺사이트는 배위자인 F이온을 공유하지 않아 농도소광이 일어나기 어려워 Cr³⁺의 고농도 첨가가 가능해진다.
- 유도 방출 단면적이 큰 장점을 가지며 여기 상태에서의 재흡수가 작다.

2.2.2 Cr⁴⁺ 첨가 결정

1987년 포스텔 라이트(Mg₂SiO₄, forstelite) 레이저 발전(10)에서 Cr⁴⁺이온의 발전이 처음으로 확인되었고 다른 천이금속과 달리 Cr⁴⁺이온은 4배위격자점에 위치한다. 이 때문에 포스텔 라이트의 발전 이후 4배위격자점을 제공하는 새로운 호스트 재료가 연구되고 있으며 Y₃Al₅O₁₂(YAG)(11), Y₂SiO₅(YSO)(12), Y₃Sc_xAl_{5-x}O₁₂(YSAG)(13)로 발전이 실현되었다.

포스텔 라이트 결정에서 Cr⁴⁺는 4배위의 Si⁴⁺격자점에 위치하며 결정성장은 고주파 유도 가열형 CZ로를 이용해 산화성 분위기에서 행해진다. 결정육성 방향은 c축 방향으로 현재 직경 35 mm, 길이 180 mm정도의 우수한 단결정이 얻어진다.

Cr⁴⁺:Y₃Al₅O₁₂ (Cr⁴⁺:YAG)의 발전파장은 1.1-1.6 μm이고 발전수명은 실온에서 3.4 μm, 유도방출 단면적은 3.5 × 10¹⁹ cm²(1350 nm)(14), 파장동기범위는 최대 1350-1561

nm이다[15]. LD여기에서 레이저 발전도 보고[16]되어 있으며 Cr³⁺ 첨가결정에 있어서 소형 전고체 파장변형레이저가 실현되어져 있다. 현재까지 Garnet 구조를 가지는 결정도 수많이 검토되었지만 YAG를 제외하고 발전까지는 실현되지 못하고 있는 실정이다. 한편, YAG (Y₃Sc_xAl_{5-x}O₁₂)[13]에서 Cr³⁺ 발광 Spectral은 Sc농도를 변화시키면 발광파장대가 이동하는 것이 알려져 재료설계라는 의미에서 흥미가 깊다.

2.3 Ce³⁺ 첨가 결정

1979년 Ce³⁺의 5d¹-4f¹ 전이를 이용한 자외선영역에서의 레이저 발전이 Ce³⁺:YLiF₄ 결정에서 보고되었다[17]. 그 후 Ce³⁺:LaF₃[18], Ce³⁺:LuLiF₄[19]의 레이저발전이 보고되었지만 이 3종은 엑시머 레이저 여기에 의한 발전이었다. Ce³⁺ 레이저에 있어서 획기적인 사건은 Ce³⁺:LiCaAlF₆, Ce³⁺:LiSrAlF₆ 결정의 Nd:YAG 제4고주파 여기에 의한 발전[20,21]이었고 이들 결정에 의한 자외선 영역에서의 전고체 파장 가변레이저가 가능하게 되었다.

3. 자외선 레이저광의 산업 응용

레이저광의 파장은 적색으로부터 청색, 청색으로부터 자외선으로 갈수록 그 파장이 짧고, 단파장 일수록 전자에너지가 커지며 이로 인하여 집광성 및 물질과의 반응성이 우수하여 가공산업에 널리 이용된다. 이러한 자외선광은 단파장의 특성을 이용하여 기계재료의 구조제작용, 전자산업분야의 기능성구조제작용, 반도체 리소그래피용 광원, 물질표면 개질, 초미세 가공 등 폭넓은 분야에서 응용이 활발히 연구 개발되고 있다. 그러나 종래의 적외 레이저광원의 중심은 방전을 이용하는 가스 레이저로 저동작효율, 단수명, 급속한 특성열화, 고전압작동, 장치사이클의 대형화 등 많은 문제점을 지니고 있었다.

한편, Nd³⁺ 등의 희토류 금속이온을 활성중심이온으로 하는 고체레이저의 경우 방전을 이용하는 기체레이저의 단점은 극복하였지만 발전 파장이 주로 적외에서 적색까지의 장파장 영역에 존재함으로 단파장의 레이저 발생이 어려웠다. 그러나 비선형 광학결정을 이용한 고체레이저광을 자외선광으로 파장변환하는 방법이 개발되어 가공산업에 획기적인 기술로 자리잡게 되었다. 예를 들어 대표적 고체레이저인 Nd:YAG와 비선형 광학결정을 조합함으로써 그림 1에 나타난 것과 같이 다양한 자외선영역의 광을 발생시킬 수 있게 되었다.

자외선 레이저광은 표 2에 나타난 것과 같이 적당한 파장의 종류에 따라 다양한 산업에 응용되어지고 있다. Ar이온 레이저(351, 364 nm), He-Cd 레이저 (325 nm), 엑시머 레이저인 XeF 레이저 (350 nm), Nd:YAG 레이저의 제3고주파(355 nm)와 같이 비교적 장파장의 자외선광은 광조형산업, 이화학용의 단백질분석, 화학분광 등에 응용되어지며, 프린터

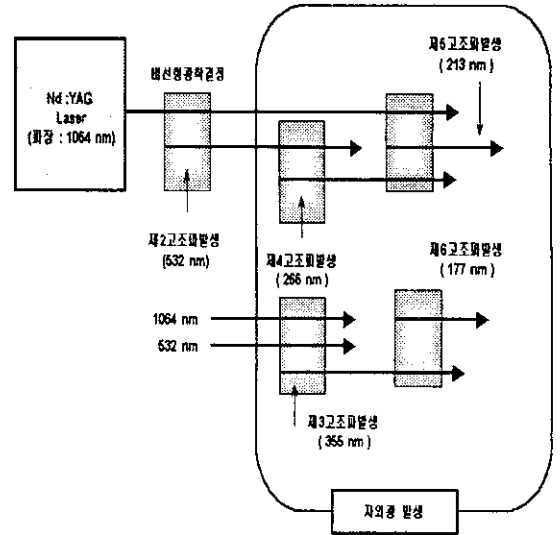


그림 1. Nd:YAG와 비선형 광학결정에 의한 다양한 자외광 발생의 개요.

표 2. 자외 레이저광의 산업응용.

산업	응용 분야
전자기기산업	· 프린트 기관절연막막 가공
	· 고분자 재료(폴리이미드)의 가공
	· 전자부품가공
	· 초미세 와이어 가공
	· DVD 관련
반도체산업	· 초LSI제작용 리소그래피 광원
	· 액정 디바이스막트랜지스터
	· 레이저 CVD
의료관계산업	· 안과치료(각막가공에 의한 시력보정)
	· 콘택트렌즈의 마킹
화학관련산업	· 데프론 표면개질(접착성향상)
	· 고분자 재료 가공
	· 비타민 등의 합성
기타	· 광조형

기반의 가공용 광원으로도 개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나 차세대 가공에는 효율, 비용의 측면 뿐 아니라 한층 더 단파장인 KrF (249 nm), KrCl (222 nm) 또는 Nd:YAG 레이저의 제4, 제5고주파(266, 213 nm)의 응용이 기대된다.

본 장에서는 자외선 레이저광의 주요 산업응용분야인 광조형, 다층 프린터 기관의 구멍 뚫기, 다결정 실리콘 아닐링, 광 리소그래피에 대하여 자세히 설명한다.

3.1 광조형

광조형이란 1988년에 미국의 3D 시스템에서 산업화된 기술로 광경화성의 액체표면에 레이저빔을 조사해 임의의 입체 형상을 금형 프레스로 고속 성형하는 것을 의미한다.

그림 2에 광조형 시스템의 간단한 개요를 나타낸다. 설계단계에서 제작된 3차원 CAD data는 슬라이스 처리에 의해 2차원의 등고선 data로 변환시키고, Data에 따라 적의 레이저광을 광경화성 수지 표면상에 주사시키면 슬라이스 데이터와 동일형상의 평면상경화물을 얻을 수 있다. 다음으로 이 평면상경화물을 수지액에 담우고 그 위에 적층을 계속하면 입체성형물을 얻을 수 있다. 이 방법은 제조업의 상품개발공정에 큰 변화를 불러일으킬 획기적인 기술로 주목 받고 있다. 또한, 뇌나 심장 등의 정밀막형을 용이하게 제작하기 위해 수술을 하기 전의 시뮬레이션에도 널리 이용된다. 이와 같이 355 nm의 자외선광이 조형물에 적합한 것은 지금까지 기술한 기체 레이저의 발전과정에 고감도의 특성을 지닌 우레탄 아크릴레이트계 또는 에폭시계의 경화성 수지의 개발도 큰 밑바탕이 되었다. 현재, 광조형의 고속성형 실현을 위하여 광의 대면적부를 넓히려는 방법의 하나로 보다 높은출력, 단파장의 자외선광이 요구되고 있으나 파장이 짧아질수록 경화성 수지 자체를 분해해버린다는 문제점이 발생함으로 경화성수지의 개발 또한 동시에 진행되어야 할 것으로 생각된다.

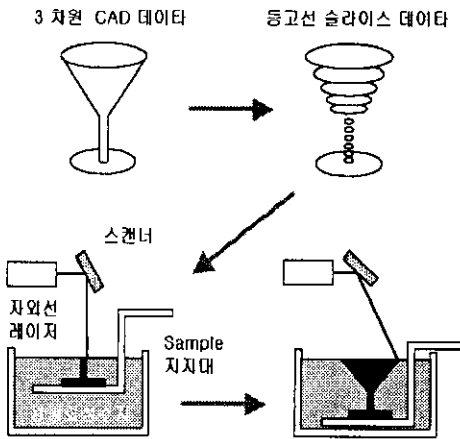


그림 2. 광조형 시스템의 개요.

3.2 다층 프린터 배선판의 구멍 뚫기 가공

현재, 휴대전화, 노트북, 디지털 비디오 카메라 등의 전자기기는 고속도 실현이 요구되어지고 이에 따라 프린터 배선기판의 소형화가 요구되어 3차원 다층구조가 도입되고 있으나 단차 구멍가공은 비교적 장파장인 CO₂ 레이저를 사용하여 구

멍(직경:최소 40-50 μm)을 가공하고 있다. 그러나 가공속도 및 고밀도 가공의 실현을 위해서는 보다 파장이 짧은 자외선광의 이용이 절실히 요구된다. 현재 가공산업에 응용되는 자외선광으로 XeCl 엑시머 레이저(308 nm)로 다층 구멍가공기에 이용되고 있지만 가공효율 및 비용면에서 문제가 남아 있다. 그림 3에 엑시머 레이저 및 Nd:YAG 레이저를 이용하여 가공한 프린터 배선기판의 구멍 뚫기 예를 각각 사진으로 나타낸다.

최근 엑시머 레이저를 이용한 미세드릴 가공기를 전고체 레이저로 대체하려는 연구 중의 하나로 Nd:YAG 레이저의 제3고주파를 이용하는 방법이 제안되어져 있지만, 이 또한 비선형 광학결정의 수명이 최대의 문제가 된다. 이러한 연구개발의 일환으로 수 kHz 반복주파수 동작의 Nd:YAG 레이저와 LBO 결정을 조합한 5 W 출력급이 발표되었지만 실용적 측면에서 LBO 결정의 수명이 해결과제로 남아있다. 그러므로 전고체 레이저의 연구개발과 동시에 비선형 광학결정재료의 개발 연구가 병행되어야 할 것으로 생각된다.

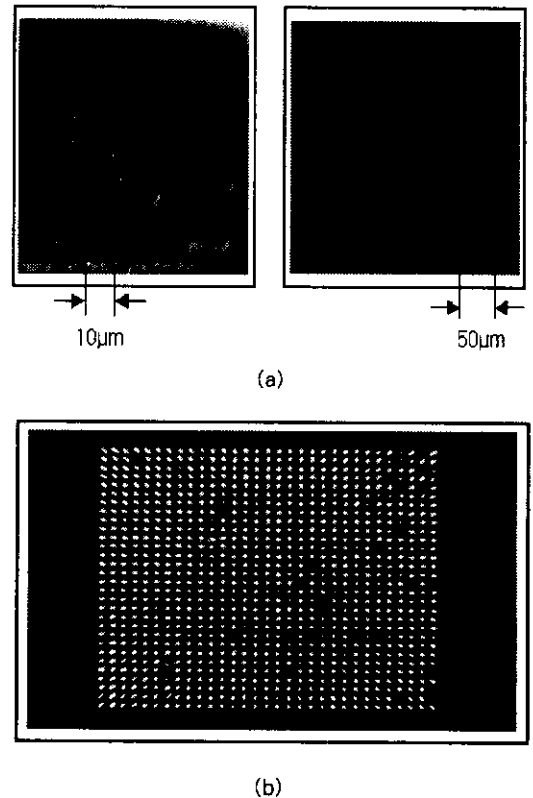


그림 3. 초고속도 실현의 전자기기에 요구되는 프린터 배선기판의 구멍 뚫기 예.
(a) 엑시머레이저 사용
(b) Nd:YAG 레이저 사용(직경 50μm, 최대 100개/초)

3.3 다결정 실리콘의 이닝팅

액정은 휴대기기, TV 또는 퍼스날 컴퓨터의 모니터 등 모든 장치에 탑재되어지고 있지만 화질을 더욱더 향상시키기 위해 화소에 있어서의 액정 면적이 차지하는 비율을 증가시켜 제어부의 박막 트랜지스터(TFT)를 소형화하려는 움직임이 활발히 일고 있다. 즉, 비결정 실리콘(a-Si)의 TFT를 스위칭 특성이 뛰어난 다결정 실리콘(Poli-Si)으로 대체함으로써 소형화를 실현할 수 있다. 이러한 Poli-Si는 a-Si를 가열용융, 냉각 재결정시켜 얻어지므로 액정 패널의 제조 시에 형성된 a-Si층을 Poli-si화시키는 공정을 첨가하게 된다. 웨이퍼 전체를 가열시키는 방법은 기판의 유리재료의 비용을 높이기 때문에 a-Si의 표면부만을 가열 재결정시키는 엑시머 레이저 배향이 행해지고 있다.

3.4. 자외선 리소그래피

반도체의 개발로 초LSI 집적회로의 연구개발이 눈부신 발전을 보이고 있다 이러한 반도체 디바이스의 고집적화를 지지하고 있는 기술의 하나는 축소투영로광(스테퍼)을 핵으로 하는 자외선 리소그래피에 의한 미세가공 기술의 발달에 있다. 광리소그래피 기술의 해상도 향상의 요인 중 광원의 파장은 해상도에 직접적으로 큰 영향을 미친다. 그림 4에 초 LSI 고집적회로의 제조에 사용되는 간단한 리소그래피용 광학계를 나타낸다.

한편, 광원의 단파장화에 따른 엑시머 레이저 개발의 역사는 수은 램프의 g선(436 nm), i선(365 nm) 시대를 거쳐 개발되었고, 1997년 이후에 KrF(248 nm) 엑시머 레이저를 이용한 리소그래피의 본격 도입시대에 돌입했다. 현재, 차세대 광원으로 0.15 μm이하의 미세디자인을 가능하게 한 보다 단파장 특성을 지닌 ArF(193 nm) 엑시머 레이저가 유력 후보로

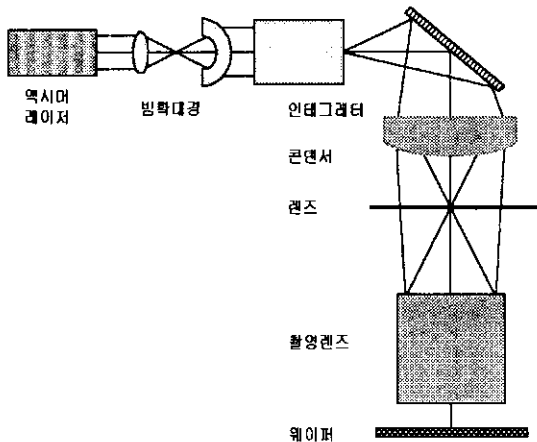


그림 4. 초 LSI 고집적회로의 제조에 사용되는 간단한 리소그래피용 광학계

연구 개발되고 있으며 나아가 자외광을 대신한 X선의 이용도 전망할 수 있다. 비선형 광학결정을 이용해 이 들의 자외광발생을 시킬 경우 KrF의 파장까지는 Nd:YAG 레이저의 제4고주파 등으로 대응할 수 있지만 ArF의 파장을 발생시키기 위해서는 단순한 고주파 발생의 구성으로는 실현되지 않는다. 최근 일본의 우시오전기(주)는 다음 장에 소개하는 CLBO결정을 사용하여 1W급인 196.3 nm의 빛 발생에 성공했지만 현실적으로 ArF레이저를 대체하기 위해서는 아직 극복해야할 많은 과제를 안고 있다.

4. 적외선광 발생용 결정의 최근 개발동향

지금까지 전고체 적외선 레이저의 산업화 최대 과제는 비선형 광학결정의 특성과 신뢰성에 있었다. 이러한 신뢰성 문제를 높이기 위한 방법으로 기존 결정의 수명을 늘리는 이외에 새로운 재료 개발이 활발히 연구되고 있다. 본 장에서는 일본 오사카대학[27]에서 개발된 비선형 광학재료를 소개하며 그것을 이용한 신 적외선 광원의 현상에 대하여 간단히 서술한다.

4.1 Gd:YCOB결정의 개발과 355 nm 광발생

프랑스의 Aka에 의해 회토류·칼슘·옥시보레이트계 결정의 하나인 Gd:Ca₄O(BO₃)₃(Gd:COB)가 유도가열형 초코랄스키(CZ)법에 의해 결정성장 되고 비선형광학 특성에 대해 보고된 후, 일본의 Sasaki에 의해 Gd:COB의 치환체인 YCa₄O(BO₃)₃(YCOB)결정을 이용한 근적외선 광인 Nd:YAG 레이저의 제3고주파 발생 가능성이 보고되었다. 여기에서 제3고주파 발생은 2차의 비선형광학 효과를 이용해 Nd:YAG 레이저의 기본파와 제2고주파의 합주파 혼합에서 얻어진다. 또한 CdCOB와 YCOB의 복굴절을 차이점을 응용한 고평용체 GdxY1-x(Gd:YCOB) 결정을 성장시키고 비임계 위상정합을 시켜 실온에서 Nd:YAG 레이저의 제3고주파 발생이 가능하게 하였다.

그림 5, 그림 6에 Gd:YCOB 결정의 분자구조와 결정사진을 각각 나타낸다.

육성온도는 Gd:YOB가 1480℃, YCOB가 1510℃이고 Gd:YCOB는 조성에 따라 그 사이의 값이 된다. 결정에 조해성은 없고 Glass와 같은 정도의 경도를 가지며 가공성이 뛰어난 재료이다. Gd:YOB는 점군에 속하는 단사정의 2축성 결정이며, 적외선 영역의 컷·오프 파장이 210 nm이다. 복굴절율은 1064 nm의 파장에서 0.041(YCOB)과 0.033(Gd:COB)의 사이로 조정할 수 있다. 이것에 의해 다른 비선형 결정으로는 실현 곤란한 특정파장의 비임계 위상정합을 달성할 수가 있어 각도 허용폭과 워크·오프각(기본파와 고주파의 전반방향의 왜곡)의 개선이 가능하다. 합주파 발생에 의해 얻어진 비

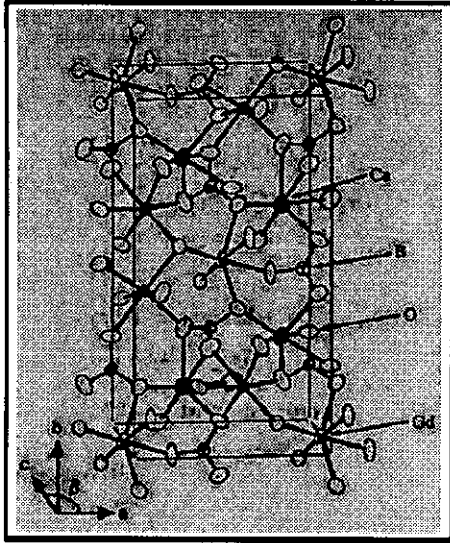


그림 5. Gd:YCOB 결정의 분자구조.(27)

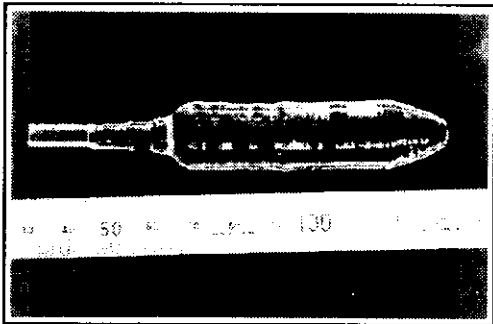


그림 6. Gd:YCOB 결정의 결정사진.

임계 위상정합 조건 하에서의 제3고주파는 조성 파라미터 $x=0.28$ 의 결정에서만 가능하다. 특히 Gd:YCOB는 비입계 위상정합을 하기 때문에 다른 결정과 비교해 뛰어난 각도특성(큰 각도 허용폭, 워크·오프각이 0)을 가지며, 실효 비선형 광학정수는 LOB와 같은 정도인 것이 확실시 되며, 이상의 결과로부터 Gd:YCOB 결정의 주요 응용분야로서 광조형 응용 가능성이 매우 기대된다.

한편, 현재 광조형에 널리 응용되고 있고 Nd:YAG는 피크 출력이 높고 파장변환에는 적합하지만 광조형에서 요구되는 40 kHz 이상의 높은 반복영역에서는 출력이 저하하기 때문에 Nd:YVO₄를 사용한 광원이 주목을 받고 있다. 이하에서는 Nd:YVO₄를 기본광원으로 하고 Gd:YCOB, LOB를 사용해 파장 변화를 행한 결과에 대해 소개한다.

반복주파수 62.5kHz, 평균출력 10W의 Nd:YVO₄ 레이저를 기본광원으로 하여 제2고주파의 발생에는 Type I 위상정합의 LBO(길이 12mm)를 이용하였으며, 제3고주파의 발생에는 Type I Gd:YCOB(17mm), Type II LOB(12mm)를 사용하였다. 변환효율을 높이기 위해 집광렌즈를 이용해 변환 결정 내부 빔의 밀도를 높였다. 기본파 레이저 파워에 대한 적외선광의 출력을 그림 7에 나타낸다. Gd:YCOB는 저온에서 적외선광 여기의 광 손실을 발생시키는 것으로 알려져 있기 때문에 손상제어를 위해 190℃로 가열하여 사용되었다. Gd:YCOB를 사용함으로써 현재 가장 기대되어지는 LOB와 같은 정도의 출력이 얻어졌다. 실험에서는 측정을 위해 렌즈와 프리즘 등의 광학소자를 사용하고 있지만 이와 같은 광학 손실을 보정한 경우 800W 이상의 파워가 얻어질 것으로 추산된다. 반복 주파수 및 출력치의 계산결과로 판단하면 이것들은 현행의 광조형용 광원으로 충분히 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

이러한 결과로부터 Gd:YCOB는 결정육성이 용이하고 기계적, 화학적으로 안정하며 특히 물과 반응하지 않는 LBO에는 없는 뛰어난 특성을 가지기 때문에 파장변환 특성이 같은 정도라면 LBO를 대체할 수 있는 유력한 재료라고 생각된다.

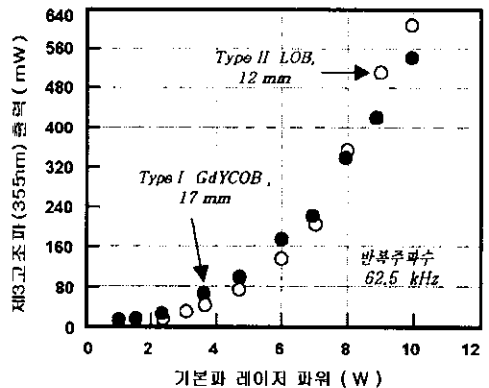


그림 7. Gd:YCOB 결정에 의한 고반복율 적외선광(355 nm)의 발생특성.

4.2 CLBO결정의 개발과 266 nm의 광발생

B₃O₇링을 기본구조로 가진 보레이트계 결정으로 우선 LBO가 개발되어 다음으로 CsB₃O₅(CBO)가 개발되었다. 그러나 CBO는 LBO와 같이 복굴절율이 작기 때문에 YAG 레이저의 제4고주파 발생은 되지 않는다. 여기서 복굴절율이 CBO와 LBO 보다 큰 결정을 개발하기 위해 1993년 복수의 알카리금속이 혼합된 신 결정 세슘·리튬·보레이트(CsLi B₆O₁₀)가 개발되었다.

한편, 펄트방법 및 플라스 육성방법으로 대형결정화가 가능한 CLOB결정의 경우, 컷·오프 파장은 180nm로 BBO의 190nm보다 단파장이지만 같은 B_3O_7 링에서 구성된 LBO(160 nm)와 CBO(170 nm)의 흡수단보다 장파장측에 있다. 프리즘법에 의해 측정된 CBO의 복굴절율은 0.052이고 LBO보다도 크며 제2고주파발생의 위상 정합관계파장은 478 nm이다. CLBO는 LBO, CBO보다도 단파장의 빛이 발생되므로 Nd:YAG 레이저의 제4 또는 제5고주파의 발생이 가능하게 되었다. 그리고 CLBO는 BBO보다 복굴절율이 작기 때문에 Nd:YAG 레이저의 제4, 제5고주파 발생에 뛰어난 특성을 나타낸다. BBO를 이용한 고주파 발생은 지금까지 많은 연구가 진행되어져 왔지만 적외선광의 흡수가 크고 동시에 온도, 각도 등의 허용폭이 작기 때문에 고출력 레이저로서의 Nd:YAG 레이저 제4, 제5고주파 발생에서는 CLBO가 적합하다. 이러한 결과로부터 종래의 K₂F 엑시머 레이저(248 nm)를 CLBO를 사용한 전고체 자외선 광원(266 nm)으로의 대체 가능성을 충분히 기대할 수 있다. 그림 8에 파장변환 결정에 의한 266 nm 광의 최고 출력치의 개발현황을 나타낸다. (1999년의 값은 일본 미쯔비시전기, 광학기연과의 공동연구) 또한, 미쯔비시전기에서 개발한 120 W급의 반도체 레이저 여기 그린 레이저를 광원으로 일본 오사카대학에서 제작한 CLBO결정으로 파장 변환함으로써 20 W 자외선광이 발생 가능하였다. 이때 반복 주파수는 10 kHz, 펄스 폭은 46 ns, 전기·광의 변환 효율은 1.2%이다. 이러한 결과로부터 CLBO결정을 이용한 전고체 고출력 자외레이저의 산업응용 가능성이 기대되어지며, 현재는 한층 더 고출력화와 장수명화를 목표로 연구가 진행되고 있다.

5. 결론

레이저 기술의 발전과 더불어 레이저광을 에너지원으로 이용하는 레이저 가공은 급속도로 발달하였고 이러한 레이저 가공은 기계부품, 전자부품소재제조 및 조립 등에 매우 유효한 수단으로 철강, 비철금속, 세라믹, 자동차, 정밀기계, 전자부품 등 다양한 산업에 널리 이용되고 있다.

본고에서 레이저 가공산업에 미치는 적외레이저광의 중요성 및 응용성에 대해 고찰한 결과 집광성 및 물질과의 반응성이 우수하여 용접 및 절단과 같은 가공에 적합한 단파장 광의 개발을 위해 많은 투자와 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

특히, 적외선광원의 산업응용 측면에서 고려해 볼 때 355nm이하의 적외선광 발생특성이 우수한 신 비선형 광학결정 Gd:YCOB는 엑시머 레이저에 필적할 장래 가공용 고출력 광원으로 큰 기대가 모여지고 있는 시점에서 우리도 끊임없는 관심과 연구 개발에 부단한 노력을 경주해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] J. C. Walling, O. G. Peterson and R. C. Morris : IEEE Quantum Electron. 16 (1980) 1302.
- [2] P. F. Moulton : Opt. News 8 (1982) 9.
- [3] M. R. Kokta : SPIE, Laser and Nonlinear Optical Materials, 681 (1986) 50.
- [4] C. P. Khattak, S. T. Lai : SPIE, Growth, Characterization and Application of Laser Host, 1104 (1989) 169.
- [5] P. Deng, Y. Chai, S. Yan, G. Zhang, Y. Sun and F. Gan : Proc. SPIE 1338 (1990) 207.
- [6] Y. Segawa, A. Sugimoto, P. H. Kim, S. Namba, K. Yamagishi, Y. Anzai and Y. Yamaguchi : Jpn. J. Appl. Phys. 26 (1987) L291.
- [7] C. P. Khattak, F. Schmid, K. F. Wall and R. F. Aggarwal : SPIE, Growth, Characterization and Application of Laser Host, 1104 (1989) 95.
- [8] S. A. Payne, L. L. Chase, H. W. Newkirk, L. K. Smith and W. F. Krupke : IEEE J. Quantum Electron. 24 (1988) 2243.
- [9] S. A. Payne, L. L. Chase, L. K. Smith, W. L. Kway and H. W. Newkirk : J. Appl. Phys. 66 (1989) 1051.
- [10] V. Petricevic, S. K. Gayen, R. R. Alfano, K. Yamagishi, Y. Anzai and Y. Yamaguchi : Appl. Phys. Lett. 52 (1988) 1040.

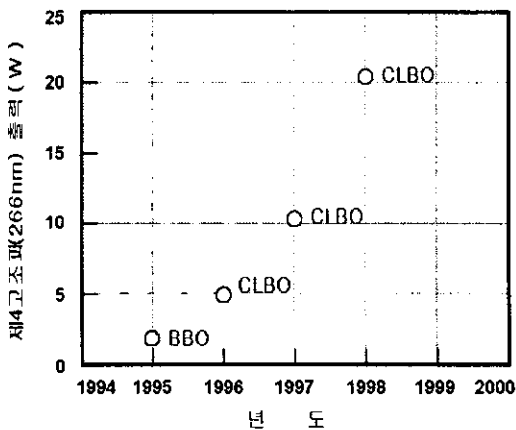


그림 8. 파장변환결정에 의한 266 nm광의 개발현황.

[11] N. B. Angert, N. I. Borodin, V. M. Garmash, V. A. Zhitnyuk, A. G. Okhchimchuk, O. G. Siyuchenko and A. V. Shestakov : Sov. J. Quantum Electron. 18 (1988) 73.

[12] B. H. T. Chai, Y. Shimony, C. Deka, X. X. Zhang, E. Munin and M. Bass : OSA Proc. Advanced Solid-State Lasers, vol.13, eds. L. Chase and A. Pinto (Optical Society of America, 1992) p. 28.

[13] S. Kuck, K. Petermann and G. Huber : OSA Proc. Advanced Solid-State Lasers, vol.20, eds. T. Y. Fan and B. H. T. Chai (Optical Society of America, 1994) p. 180.

[14] H. Eilers, U. Hommerich, S. M. Jacobson, W. M. Yen, K. R. Hoffman and W. Jia : Phys. Rev. B49 (1994) 15505.

[15] A. V. Shestakov, N. I. Borodin, V. A. Zhitnyuk, A. G. Ohrimchuk and V. P. Gaponstev : Technical Digest of Conference on Lasers and Electro-Optics, Maryland MD, May 1991, paper CDP11.

[16] P. M. W. French, N. H. Rizvi, J. R. Taylor and A. V. Sestakov : OSA Proc. Advanced Solid-State Lasers, vol.15, eds. A. Pinto and T. Y. Fan (Optical Society of America, 1993) p. 307.

[17] D. J. Ehrlich, P. F. Moulton and R. M. Osgood, Jr. : Opt. Lett. 4 (1979) 184.

[18] D. J. Ehrlich, P. F. Moulton and R. M. Osgood, Jr. : Opt. Lett. 5 (1980) 339.

[19] M. A. Dubinskii, R. Y. Abdulsabirov, S. L. Korableva, A. K. Naumov and V. V. Semashko : IQEC'92, paper FrL2.

[20] M. A. Dubinskii, V. V. Semashko, A. K. Naumov, R. Y. Abdulsabirov and S. L. Korableva : OSA Proc. Advanced Solid-State Lasers, vol.15, eds. A. Pinto and T. Y. Fan (Optical Society of America, 1993) p.195.

[21] J. F. Pinto, G. F. Rosenblatt, L. Esterowitz and G. J. Quarles : Electron. Lett. 30 (1994) 240.

[22] L. F. Johnson and H. J. Guggenheim : J. App. Phys. 38 (1967) 4837.

[23] R. H. Page : Technical Digest of Conference on Lasers and Electro-Optics, Maryland MD, May 1995, Paper CWH5 P. 234.

[24] L. F. Johnson, R. E. Dietz and H. J. Guggenheim : Phys. Rev. Lett. 17 (1966) 13.

[25] P. F. Moulton : IEEE J. Quantum Electron. 21 (1984) 1584.

[26] P. F. Moulton and A. Mooradian : Appl. Phys. Lett. 35 (1979) 838.

[27] M. Yoshimura, Y. Mori and T. Sasaki : Laser Society of Japan. 27 (1999) 519

저 자 약 력

성명 : 김 정 호

❖ 학 력

1986년 경상대 전기전자공학과(학사)
 1991년 경상대 전기전자공학과(석사)
 1998년 일본 오사카대학 전기공학과(박사)

❖ 경 력

1998-1999년 일본 오사카시립대학
레이저화학연구소 객원연구원
 1998-2001년 창원대 공과대학
메카트로닉스공학부 전임강사
 2000-현재 일본 오사카대학 레이저핵융합연구소
공동연구원
 -현재 한국전기전자재료학회 편수위원
 -현재 (주)네오 레이저
 -현재 한국광기술원

성명 : 서 연 호

❖ 학 력

1990년 부경대 화학공학과(학사)
 1997년 일본 오사카시립대학 생물응용화학(석사)

❖ 경 력

1997-1999년 한국화학연구원
 1999-2001년 (주)일신유화
 -현재 (주)네오 레이저

성명 : 박 용 필

❖ 학 력

1981년 광운대 전기공학과(학사)
 1983년 광운대 대학원 전기공학과(석사)
 1992년 광운대 대학원 전기공학과(박사)

❖ 경 력

1992-현재 동신대 전기전자공학부 부교수
 1995-1996년 오사카대학 전기공학과 객원교수
 1999-현재 동신대 TIC 연구개발부장
 -현재 한국전기전자재료학회 학술이사, 편집이사