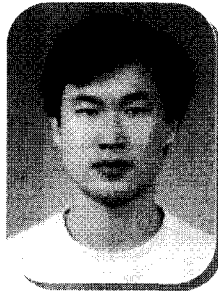


레이저 디스플레이 시스템의 최근 기술 동향



· 엄기영 ·
LG 전자기술원
책임연구원

1. 서론

최근 고출력 반도체 레이저 및 이를 펄핑 광원으로 이용한 소형 고체 레이저의 기술적 진보로 레이저 디스플레이의 상용화 가능성이 높아짐에 따라 많은 업체가 레이저 디스플레이 관련 연구를 가속화하고 있다. 기존에 레이저 디스플레이를 구현하기 위하여 사용하였던 레이저는 krypton and mixed 기체 레이저로 효율이 1%이하로 필요한 전력이 수십 kW이고, 크기가 큰 전원 장치, 냉각수 시스템 및 레이저 발진기가 필요하여 전체 레이저 시스템이 매우 큰 반면, 고출력 반도체 레이저 및 고체 레이저는 전기에너지 대비 광 에너지 변환 효율이 반도체 레이저는 40% 이상, 고체 레이저는 10%이상으로 매우 효율적이고, 크기가 작고, 공냉식이 가능한 장점이 있어 레이저 디스플레이 광원으로 활발히 연구되고 있다.

레이저 디스플레이의 큰 장점은 그림 1에서와 같이 기존 LCD나 CRT 등의 다른 디스플레이에 비해 색을 구현할 수 있는 범위가 매우 넓어 자연색에 가까운 색을 구현할 수 있다. 또한 레이저가 가지고 있는 편광성, 직진성 등을 이용하여 작고, 효율적인 다양한 형태의 디스플레이를 구현할 수 있고, projection에 사용하는 기존 램프의 수명이 5,000시간인 것에 비하여, 반도체 레이저는 20,000시간 이상을 확보할 수 있다.

레이저 디스플레이 시스템은 레이저를 조명광으로 사용하는 방식과 레이저를 직접 조사하는 방식으로 나눌 수 있다. 조명광으로 사용하는 방식은 기존 Liquid Crystal Displays(LCD)나 Digital Micro mirror Display(DMD)에 램프 대신 조사하는 것이고, 레이저를 직접 조사하는 방식은 레이저 빔을 직접 변조하여 scanning하는 것이다. 레이저를 직접 변조하여 조사하는 방식은 일정 부분의 휘도를 강하게 할 수 있는 장점이 있고, 조명광으로 사용하는

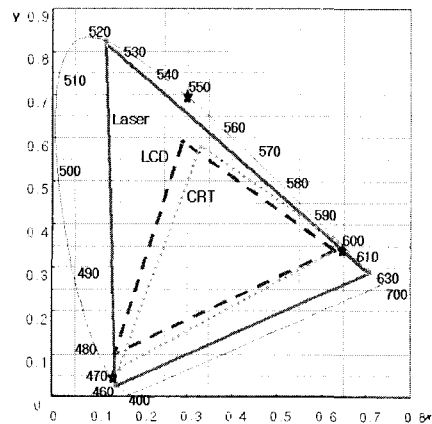


그림 1. CIE색 좌표.

방식은 기존 방식에 레이저 광을 균일하게 조사할 수 있도록 광학계를 구성하여 램프 대신에 사용하는 방식이다. 레이저를 사용하여 디스플레이를 구현할 때, 화질 상에서 가장 문제가 되는 부분은 speckle 현상이다. 레이저 광원은 가간섭성이 크기 때문에 스크린 상에서 speckle 현상이 나타나고, 이것을 제거하기 위한 것이 필요하다. 일반적으로는 레이저 광원이 지나가는 경로에 미세하게 경사진 유리판을 회전시켜 스크린 상의 speckle 현상을 극소화시키는 방법을 사용한다.

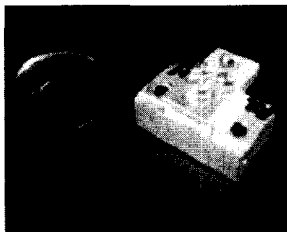
2. 기술 동향

2.1 레이저 광원

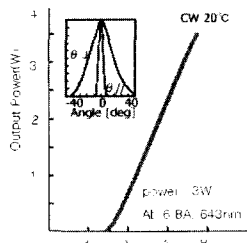
레이저 디스플레이를 구현하기 위하여 사용하는 광원은 여러 가지가 있다. Krypton and mixed white gas laser, high power semiconductor laser, SHG solid state laser, OPO laser, Microlaser, fiber laser 등이 검토되고 있다.

Krypton and mixed white gas laser는 전기 광학 변환 효율이 0.1%로 낮고, 밀폐식의 chiller가 결합된 수 냉각이 필요하며, 가스의 이득이 작고, 공진기 길이가 1m 이상으로 전체 시스템이 매우 크다. 이에 비하여 Lamped pumped visible solid state laser의 경우 전기 광학 변환 효율이 2% 정도로 기체 레이저에 비하여 효율이 좋으나 역시 시스템이 크고 수 냉각이 필요한 단점이 있으며, 녹색을 제외한 청색과 적색을 구현하기 어렵다.

최근에는 고출력 반도체 레이저의 급속한 기술적 진보에 따라, 고출력 반도체 레이저 광원 및 반도체 레이저를 펌핑 광원으로 하는 고체 레이저가 레이저 TV의 상업화 가능한 광원으로 연구되고 있다. AlGaInP 물질에 기반한 적색 반도체 레이저는 최근 Sony 사가 그림 2와 같은 신뢰성 있는 파장 643nm, 광출력 3W를 발표하였다[1]. 레이저 디스플레이 광원으로 사용하는 고출력 반도체 레이저는 충분한 광출력을 얻기 위하여 어레이 형태의 레이저 다이오드를 사용한다. 적색의 경우 레이저 디스플레이 시스템에 필요한 광출력을 반도체 레이저에서 얻을 수 있는데 반하여, 청색 반도체 레이저는 Nichia의 경우 파장 440nm, 5mW급의 single chip을 만들어 상용화하고 있어 그 가능성이 증대되고 있으며, 녹색에 경우는 신뢰성을 확보하지 못하고 발전하는 수준에 머물러 있다.

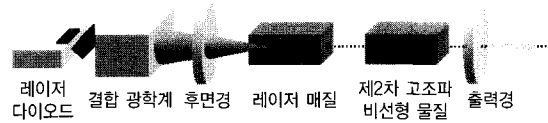


(a) 사진.

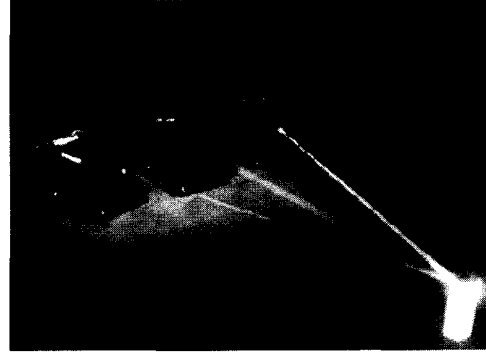


(b) 반도체 레이저 특성.

그림 2. Sony사의 적색 반도체 레이저.



(a) 고체 레이저 개념도.



(b) 적색, 녹색, 청색 교체 레이저 시스템.

그림 3. 다이오드 펌핑된 고체 레이저.

반도체 레이저를 이용하여 RGB을 얻는 레이저는 표 1에서와 같이 여러 종류가 있다. 이중 가장 관심을 갖는 광원은 반도체 레이저를 이용한 고체 레이저이다. 그림 3과 같이 고출력 반도체 레이저를 이용하여 레이저 공진기 내에 위치한 고체 레이저 매질에 집중시켜 밀도반전을 이루어 레이저 발진 조건을 만족시키고, 발진된 레이저 광을 제 2차 고조파 물질을 사용하여 파장 변환을 시켜 녹색과 청색 레이저를 얻는 것이다. 이때 사용하는 고체 레이저 매질은 Nd:YVO4, Nd:YAG을 가장 많이 사용하고, 제 2차 고조파 물질은 KTP, LBO, BBO 등을 가장 많이 사용한다.

녹색의 경우 현재 레이저 TV로 사용할 만큼 크기와 전력 소모가 작고, 광출력이 532nm 파장에서 3W가 발진하는 레이저를 여러 회사에서 상용화되고 있다. 이에 반하여 청색의 경우는 Nd:YVO4 레이저 매질로 하는 0.4W가 상용화되고 있다.[2] 현재 가정용 레이저 TV를 구현하는 데 가장 문제가 되는 것은 청색 레이저이다. Nd:YVO4 레이저 매질의 경우 청색을 얻기 위한 발진 파장이 914nm로 열 문제, 낮은 이득으로 효율적인 광출력을 얻기 어렵기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Q-peak, COLOR, Scheinder 등은 OPO에 기반한 RGB 레이저를 연구 개발하고 있다.[3] OPO(Optical Parametric Oscillation)에 기반한 RGB 레이저는 acousto-optic modulator을 레이저 공진기 내에 두어 펄스 형태의 레이저 광을 발생시키고, 발생된 레이저 광을 증폭시켜 고출력 광을 얻고, 이것을 OPO 공진기에 조사시켜 RGB 광원을 얻는 방식이다. OPO에 기반한 레이저는 극장용으로 사용될 정도로 충분한 광출력을 얻을 수 있으나, 시스템이 복잡하고 크기가 비교적 큰 단점이 있다.

2.2 레이저로 직접 조사하는 디스플레이

표 1. 반도체를 펄핑 광원으로 레이저

	레이저 다이오드	고체 레이저	Upconversion Fiber Laser	레이저 다이오드 제 2차 고조파
방법	전기 에너지를 빛 에너지로 직접 방출	LD의 빛 에너지를 고체 매질로 통하여 RGB광원으로 변환	LD의 빛 에너지를 Fiber를 통하여 RGB광원으로 변환	LD의 빛 에너지를 비선형 물질을 통하여 RGB광원으로 변환
장점	가장 이상적인 광원 (가장 작고, 효율적, 저전력, 대량 생산, 저가 가능)	현재 RGB 고출력 가능 -녹색 : (532nm) : 3W -청색 : (457nm) : 0.5W	현재 연구 중 크기, 전력 소모가 고체 레이저에 비해 작음	고출력 연구 중 크기, 전력 소모가 고체 레이저에 비해 작음(G:0.1W, B:0.1W)
단점	현재 적색은 가능하고 녹색/청색 출력이 매우 작음	레이저 시스템의 크기, 전력, 가격	Photodarking 효과에 의해 고출력 발생시 광 출력 저하 (<수십h)	고출력 Array LD와 Array QPM과의 결합 및 RGB변환 효율이 문제
업체	Coherent(R), SDL(R), Nichia(B)	LDT, Color Vision Melles Griot, Aculight	HP, University Lab.	Germfire
공통 기술	전원 장치, 냉각 장치, 온도 제어 장치, 시스템 제어 장치			

전자빔을 직접사용하는 CRT와 유사하게 레이저 빔을 직접 변조하여 scanning을 하는 것으로 그림4와 같다. 그림 4와 같은 방법은 가장 고전적인 방법으로 LDT, Samsung, Scheinder 등 여러 회사에서 구현하였다. 영상을 얻기 위하여 레이저 빔을 변조하는 것은 주로 AOM(Acousto-Optic Modulator)을 사용한다. AOM은 PZT에서 발생한 음파에 의해 격자를 만들고 이 격자를 통과하는 레이저 빔이 회절되는 효과를 이용하여 레이저 빔을 변조하는 방식이다. AOM에 의한 변조된 레이저 빔을 galvanometric mirror와 고속으로 회전하는 polygon mirror를 사용하여 screen에 조사시켜 영상을 얻게 된다. 이렇게 레이저 빔을 스크린에 직접 조사하는 경우 scanning mechanism에 의해 항상 일정한 위치와 주기를 가지고 레이저 빔이 조사되어야 한다. 독일의 schneider사에서의 경우 그림 4와 같이 레이저 빔을 직접 조사하는 시스템을 구성하였다. AOM을 사용하여 레이저 빔을 변조하고, 수평 방향은 32면의 polygon mirror로, 수직 방향은 galvanometric mirror를 사용하여 scanning하는 방식이다. 또는 AOM으로 변조된 레이저 빔을 Fiber에 결합시켜 raster scanning하여 조사하는 시스템도 구현하였다. 레이저 빔을 Fiber에 결합시켜 전송시키면 레이저 광원과 scanning part을 손쉽게 분리하여 시스템을 구성할 수 있고 scanning part 부분의 크기가 작으므로 활용도를 높일 수 있는 장점이 있다.

레이저로 직접 조사하는 경우 scanning mechanism을 활용하여 광량이 많이 필요로 하는 일정 부분을 영역의 휘도를 높일 수 있다. 또는 scanning mechanism을 이용한 경우 초점 심도가 깊어 굴곡

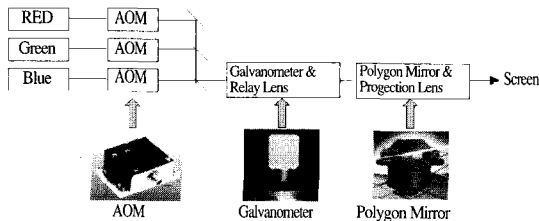


그림 4. 레이저로 직접 조사하는 레이저 시스템 개념도.

을 가진 면에 디스플레이 할 수 있는 장점이 있다. 이에 반하여 32면의 polygon mirror의 최대 회전 수는 40,000rpm이고, 기계적인 회전방식을 사용하므로 HD급 해상도를 가진 디스플레이를 구현하기 어렵다.[4]

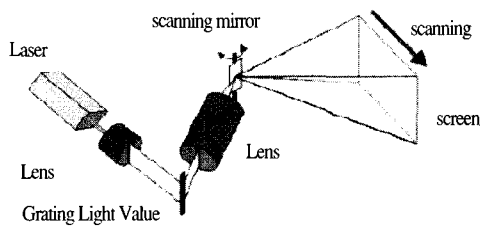
2.3 선형 판넬을 사용한 레이저 디스플레이

레이저로 직접 조사하는 디스플레이의 한계점을 극복하기 위하여 선형 판넬을 이용하여 영상을 구현하고 polygon mirror 등을 이용하여 수평으로 scanning하는 방식에 대한 연구 개발이 이루어지고 있다. 선형 판넬을 사용하여 레이저 디스플레이를 구현하는 대표적인 회사는 Sony와 Silicon Light Machine이다. Sony는 그림 5에서와 같은 GLV를 이용한 레이저 시스템을 2002년에 발표 하였다. GLV와 같은 선형 판넬은 램프로 조사시킬 경우 시스템의 효율이 매우 작아 지게 되므로, 레이저 광원을 이용하여 디스플레이를 구현하기 적합한 판넬이다.

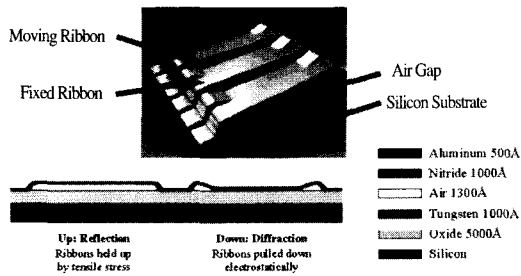
그림 5에서처럼 GLV(Grating Light Valve)을 이용한 레이저 디스플레이 시스템은 레이저 빔을 선형을 GLV panel에 조사시킨 다음 수평 축을 scanner를 사용하여 scanning하는 방식으로 HD급 (1920x1080)급의 디스플레이 구현이 가능하다. GLV panel은 HD급의 디스플레이가 가능하고, DMD panel에 비하여 생산 수율이 높아 가격이 낮아 질 가능성이 있으며, 높은 contrast를 얻는 것이 가능하다. GLV 판넬은 그림 5에서와 같이 한 pixel이 6개 정도의 ribbon으로 구성되어 있으며, 이 ribbon의 전기적인 변형에 의해 발생하는 회절 효과를 이용한 Schlieren 시스템을 구성하여 레이저 빔을 변조시켜 영상을 얻는 방식으로 레이저 광의 편광 특성과 무관하다. 그러나 GLV 판넬 폭이 25um 정도로 좁은 폭을 가지고 있으므로 레이저 빔을 균일하게 좁은 폭의 선형으로 만들어 조사시키는 미소 광학계가 필요한 단점이 있다.

2.4 판형 판넬을 사용한 레이저 디스플레이

LCD 나 DMD panel과 같은 2차원 panel을 사용하여 레이저 디스



(a) GLV를 사용한 레이저 디스플레이 시스템.



(b) GLV의 구조도.

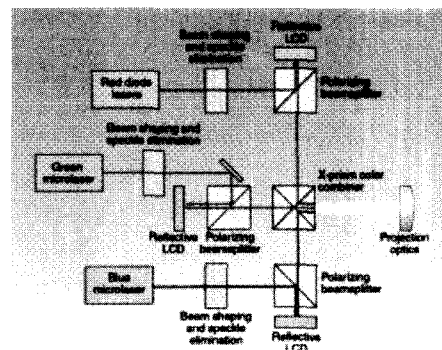
그림 5. 선형 판넬을 이용한 레이저 디스플레이 시스템.

플레이 시스템을 구성할 수 있다. 이 경우 기존 램프에서 대신에 레이저 광원을 사용하는 방식으로 램프 대신 레이저를 사용하므로 색 측면에서 자연 색에 가까운 화면을 손쉽게 구현할 수 있으나, 레이저의 가격을 램프에 가깝게 떨어뜨려야 하는 단점이 있다. 레이저 광원을 사용한 LCD나 DMD Projection system은 광학계 설계가 램프에 비해 간단하고, 광학 부품의 구성이 단순하며, 시스템의 크기를 작게 할 수 있는 장점이 있다.

Laser Power Corp.사는 그림 6과 같이 LCD를 이용한 500 lm 휘도, 6500K의 색온도를 갖는 반사형 소형 LCD projector을 구현하였다. 청색 레이저의 경우는 0.4W 소형 고체 레이저는 4개의 사용하여 광 출력 1.34W을 사용하였고, 녹색 레이저는 Nd:YVO4 고체 레이저 매질을 808nm 고출력 레이저로 펌핑하고 내부 2차 고조파한 광출력 1.87W을 사용하였고, 적색 레이저는 파장 650nm, 광출력 4.87W 반도체 레이저를 이용하여 구성하였다. 전체 LCD projector 시스템은 15 X 15.5 X 8.5 inch로 작게 구성하였다.

3. 결론

레이저 광원을 이용한 대화면 디스플레이 구현은 새로운 전기를 맞고 있다. 고출력 반도체 레이저의 급격한 기술적 진보는 적색이외에 청색,녹색의 반도체 레이저의 실현을 가시화하고 있으며, 반도체 레이저를 이용하여 펌핑한 고체 레이저의 광 출력 또한 녹색은 소형의 고체 레이저에서 광 출력이 3W급 이상이 손쉽게 구현되고, 청색의 경우는 광 출력이 0.5W급이 상용화되어 있고 광 출력 또한 현재의 기술적인 한계를 해결하고 높아질 전망이다.



AMLCD Panel	1.3in
Pixel Resolution	1280×1024
Lumious output	>500 ANSI lumens
Contrast	>100 : 1
Dimensions	15×15.5×8.5in
Laser Source	
	Blue Green Red
Wavelength	457nm 532nm 650nm
Optical Power	1.35W 1.87W 4.87W

그림 6. 레이저 광원을 사용한 LCD Projector 개념도 및 사양.

레이저를 이용한 디스플레이 시스템의 구현은 기존 램프와 가격적인 경쟁을 해야 하는 문제 점이 있으나, 레이저가 가지고 있는 단색성, 직진성, 편광성, 완벽한 자연 색 구현이 가능하다는 장점으로 인하여 연구개발이 진행되어, 다양한 형태의 레이저를 이용한 대화면 레이저 디스플레이 시스템의 상용화가 가능해져 있다.

참고 문헌

- [1] I. Daisuke, et al., Proc. The 18th IEEE International semiconductor laser conference, p. 131, 2002.
- [2] D. Hargis and A. Earman, Laser Focus World, May, 1998.
- [3] G. Hollemann, et al., Pro. SPIE, VII, p. 36, 2001.
- [4] J. Kranet, et al., Pro. The 11th Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical System, p. 99, 1998.

서 사 약 령

성 명 : 엄기영

❖ **학 령**

- 1987년 - 1991년 고려대 물리학과
- 1991년 - 1993년 한국과학기술원 물리학과 이학사
- 1993년 - 1998년 한국과학기술원 물리학과 이학박사

❖ **경 령**

- 1998년 - 1999년 LG산전 중앙 연구소 선임연구원
- 1999년 - 현재 LG 전자기술원 책임연구원