

하이파워 가시역 반도체 레이저의 계측 · 검사용도로의 응용

글 우시오전기 광원사업부 / 오다 후미히코
번역 유정훈 부장 / (주)그린광학 해외마케팅부

1. 배경

가시역의 반도체 레이저의 성능향상은 눈부시고, 특히 영상용도로의 응용은 레이저의 단색성, 고휘도, 직선편광이라고 한 특징을 활용해서 광색역, 대광량, 고콘트라스트인 것은 물론, 파장차와 편광에 의한 3D영상을 표현할 수 있는 프로젝터, 디스플레이가 개발되고 있다^{1,2)}.

우시오전기에서는 대형프로젝터용의 R/G/B 고출력레이저를 주력제품으로 하고 있다. 그림1에 대표적인 제품으로서 R/G/B 레이저패키지와 PPLN에 의한 파장변환의 조합에 의한 것, Red, Blue는 반도체 레이저이다. 영상용도에 머물지 않고, 광원으로서의 상기의 우수한 특성을 살린 가시역 반도체 레이저에 의한 “광의 조명”용도의 개척은 넓게 진전중이다³⁾.

그림2는 LED와 램프 등 타광원에 비교해서 레이저조명이 가지는 유니크한 특성을 나타낸 것이다.

- (1) 용이한 다색합성
- (2) 고휘도 · 집광조사
- (3) 라인상 조명
- (4) 파이버도광
- (5) 형광여기에 의한 고휘도 백색광발생

예를 들면 (1)(4)를 사용한 장식조명⁴⁾과 (3)을 사용한 레이저쇼, (5)를 사용한 프로젝터라고 하듯이 레이저 특성을 살리고 있다. 본고에서는 검사 · 계측용도로의 용도전개예로서, (5)를 사용한 검사용 광원과, (3)을 사용한 유체해석용 조명광원을 소개하겠다.

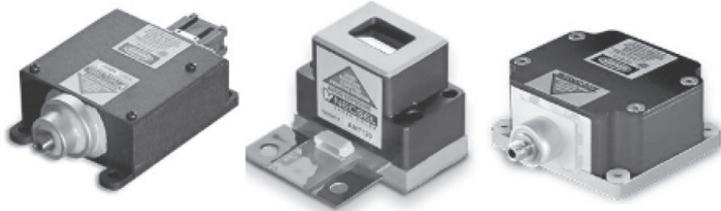


그림1 우시오의 R/G/B 레이저패키지 제품
(좌부터 Blue, Green, Red)

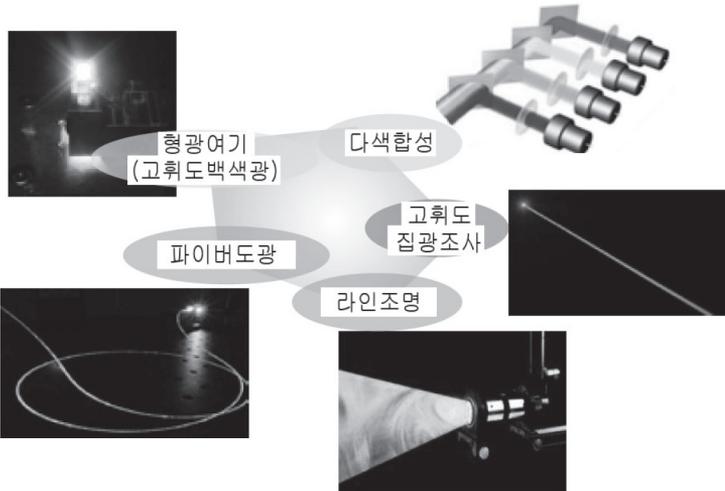


그림2 레이저조명이 가지는 특성

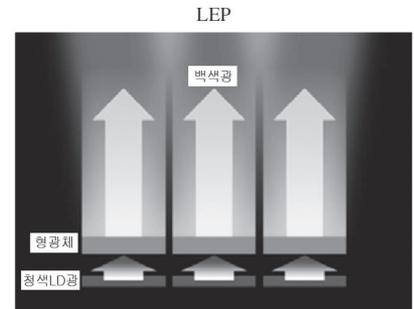
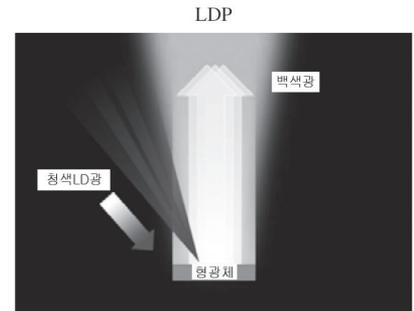


그림3 LDP광원(레이저 여기형광광원)과 LED의 원리모식도

2. 레이저 형광여기(LDP)방식 고휘도 백색광원

청자~청색 레이저에서의 형광체여기에 의한 고휘도 백색광발생(여기에서는 LD pumped Phosphor의 약칭으로 LDP라고 한다)은 앞서 말한 프로젝터용뿐만 아니라 자동차용 헤드라이트로의 응용⁵⁾도 진행하는 주목의 광원이다. 그림3은 LDP와 백색LED의 비교를 나타내는 모식도이다. 여기광+형광에서 백색광을 만드는 원리는 같지만, 여기광이 레이저이기 때문에 고휘도화 할 수 있는 점이 특색이다.

그림4와 표1에 우리들이 제작한 머신비전 등 검사용도용의 LDP광원의 사진을 나타냈다. 또 표2에 그 개략사양을 이 용도에 독점적으로 사용되는 메탈 할라이드 램프광원과 비교한 것을 나타냈다. 고효율의 반도체 레이저/형광체의 사용에 의해 거의 같은 소비



그림4 LDP광원조명장치의 사진

표1 램프조명장치와의 사양비교

항목	LDP광원조명장치	램프조명장치
사용광원	LDP광원	250 W 메탈할라이드램프
소비전력	350 W	350 W
광량(초기)	8,000 lm	4,000 lm
광원기대수명	20,000 h (50%광량)	2,000 h (60%광량)
순시점등·소등	Yes	No
펄스점등	Yes	No
광량조정	Yes (20%~100%)	No

LDP	LEP	LDP의 장점
<p>파이버로 대광량 도광가능</p>	<p>휘도가 낮아 파이버 도광에는 맞지 않다. 대광량조명에는 LED를 (종종 복수) 워크주위에 배치할 필요가 있다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ·워크주위의 기기(카메라 등)의 배치자유도가 크다 ·광원을 워크에서 떨어트려 설치할 수 있고, 유지보수성이 좋다.
<p>평행광화가 용이</p>	<p>광원휘도가 낮기 때문에 평행광화가 어렵다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ·요철이 큰 워크와 함몰부 안쪽 등으로의 조명도 가능. ·평행광~확산광까지 조명의 조건을 크게 바꿀 수 있다.
<p>라인상 고휘도 조명가능</p>	<p>광원휘도가 낮기 때문에 고휘도의 실현이 어렵다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ·라인센서에서의 검출에 대해서 고효율로 조명이 가능.

그림5 머신비전용 광원으로서의 LDP 장점(LED와의 비교)

전력이면서 약 2배의 광량(lm)을 얻고 있다. 또 순시점등·소등과 펄스점등이 가능한 점도 우위점이다. 머신비전용 광원으로서 LED도 많이 사용되고 있지만, LDP광원을 사용한 경우의 장점을 그림5에 나타냈다. 즉,

- (1) 대광량이 필요한 경우, 워크주위에 다수의 LED를 배치하는 것에 비해, LDP광원이라면 파이버도광에서 대광량조명이 가능하고 워크주위의 카메라 등의 배치자유도가 크다.

- (2) 평행광 생성이 용이하고 요철이 큰 워크로 효과적으로 조명할 수 있다.
- (3) 라인상 고조도조명이 가능하고, 라인센서에서의 검출에 대해서 효율적으로 조명할 수 있다.

이다. 상기는 장점의 일레이지만 LDP의 고휘도·대광량을 살린 용도가 이후 점점 넓어진다고 생각한다.

3. 유체계측용 시트 빔 광원

3.1 유체계측의 방법

자동차와 항공기의 공력은 물론, 기기냉각을 위한 팬과 히트싱크의 능력·형상·배치,オフィ스의 공조와 클린룸의 오염관리, 파이프와 마니홀드라고 한 유로 내 등, “흐름”을 디자인하는 것은 어떤 엔진에 링에서 떨어 수 없는 것이라고 할 수 있다. 그러나 계산기를 사용한 유체해석은 광범위하게 받아들여지고 있는 반면, 흐름을 “실측하는”수단, 특히 흐름의 공간분포를 파악하는/계측하는 수단을 모두가 손에 있다고는 말할 수 없는 상황이다.

유체의 현상이해를 위한 계측에는 종래부터 크세논램프와 대형펄스레이저라고 한 대광량광원에 의한 “조명”과 “고속촬영”의 조합이 사용되어 왔다. 근년에는 레이저에 의한 대광량 시트조명과 고시간 분해능 촬상의 조합에 의해 유속벡터의 공간분포를 취득하는 PIV(Particle Imaging Velocimetry)가 넓게 사용되고 있다. PIV용 조명에는 DPSS가 오로지 사용되고 있지만, 우리들은 이것에 대체하는 보다 소형·고효율광원으로서 반도체 레이저를 베이스로 한 광원을 개발했다. 이하 그 특징·특성에 대해서 말하겠다.

3.2 PIV용 레이저에 필요한 특성

PIV는 유속벡터의 공간분포를 계측하기 위한 방법이고, 일반적으로는 가시화를 위한 산란입자(가시화입자)를 흐름 중에 혼입한 상태에서 관측하고 싶은 공간을 조명해서 고속촬영하고, 입자 동적을 해석하는 것에서

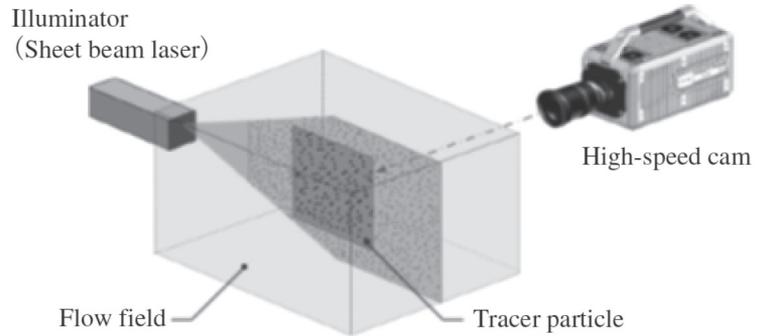


그림6 PIV계측계의 구성

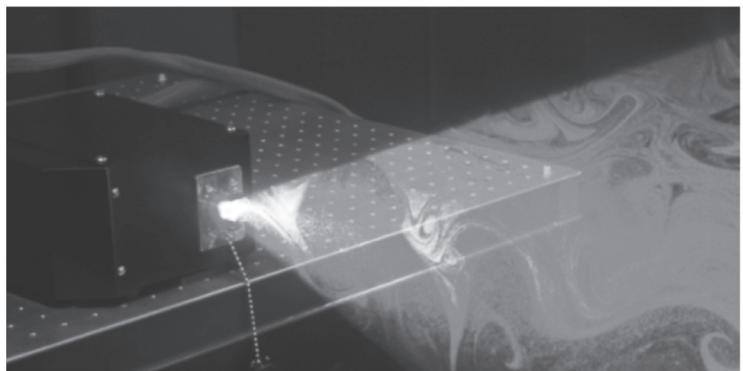
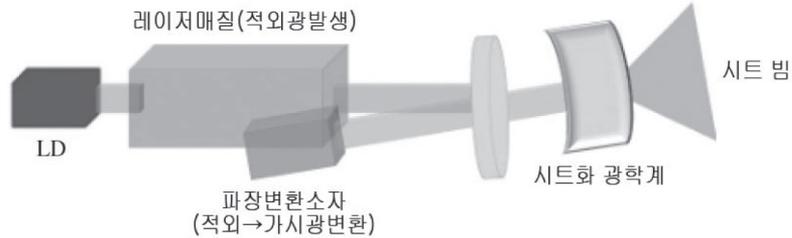


그림7 우시오전기제 시트 빔 레이저외관상)과 조명모습(하)

■ 종래(DPSS) 시트 빔의 구성 예



■ 우시오 시트 빔의 구성



그림8 DPSS 시트 빔과 우시오전기제(반도체 레이저) 시트 빔의 비교

표2 우시오 시트 빔 레이저의 주요사항

항목	사양
출력	5 W max. (출력가변)
파장	640 nm대
시트 두께	≤1.5 mm*
시트 열림각	약 40 deg.** 렌즈교환에 의해 변경가능***
레이저헤드치수	190x160x100 mm

* 출력포트에서 1 m까지의 범위에서

** 부속표준렌즈 사용시

***렌즈 설치부는 C마운트

유속벡터분포를 취득한다. 그림6에 전형적인 PIV측정의 구성을 나타냈다. 일반적으로 PIV는 해석하고 싶은 공간 단면을 시트상으로 조명해서 측면에서 촬영하는 것에서 속도(조명평면내의 2차원)벡터를 취득한다⁹⁾. 고속(=단시간간격)촬영을 위해서는 크게 두 가지 방법이 있고, 하나는 고반복 펄스레이저로 조명하는 방법, 또 하나는 CW조명해서 고속 카메라로 촬영하는 방법이다. 후자는 촬영 시간간격이 전자만큼은 짧게 할 수 없고, 고

속도현상의 해석에는 맞지 않는 면이 있었지만, 근년의 하이스피드 카메라의 고성능화를 받아, 비교적 저가로 시스템을 조합하는 것도 있어 넓게 사용되고 있다. 이 CW조명에 의한 PIV에 요구되는 조명 요구는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 출력수: 100 mW~10 W정도
- (2) 시트 빔 두께: 1~2 mm정도
- (3) 파장: 가시, 특히 적색이 적합

출력으로의 요구(1)은 측정(조명)하는 영역의 크기와 촬영 속도에도 의존한다. 당연하지만 출력이 클수록 큰 영역, 고속도의 현상까지 조명·촬영 가능하다. 상술한 바와 같이 PIV에서는 해석하고 싶은 공간의 단면조명해서 속도(조명평면내의 2차원)벡터를 취득한다. 이 단면조명을 위해 (2)의 요구가 있고, 얇은(1~2 mm) 시트조명이 요구된다. (3)의 파장에 대해서는 카메라감도와 목시에서의 감도(카메라촬영에 평행하고, 현상을 목시에서 관찰하는 것도 많다)가 높은 쪽이 좋기 때문에 녹색이 적합하다.

상기의 요구를 만족하는 조명광원은 DPSS가 일반적으로 사용되어 왔다. 녹색(532 nm가 일반적)에서 하이파워의 것이 이미

개발되어 있는 중에 (2)의 시트화에 적합한 좋은 모드 빔이 얻기 쉬운 것도 DPSS가 사용되어온 이유이다.

3.3 우시오의 시트 빔 레이저

폐사가 개발한 시트 빔 레이저의 외관과 조명 모습을 그림7에, 주요사양을 표2에 나타냈다.

사용하는 광원으로서의 종래의 DPSS대신에 적색대의 반도체 레이저를 사용했다. 반도체 레이저를 사용하는 최대 장점은 고효율이다. 레이저 그것의 전력효율은 대략 25%~30%이고, DPSS의 3배정도의 고효율이다. 이것은 드라이버 · 냉각계를 포함한 소형 · 경량화에 크게 기여하고 있다. 또 당연하지만 그림8에 나타낸 대로 반도체 레이저 출력을 직접 사용하기 때문에 구성이 단순한 것도 소형화 및 신뢰성의 관점에서 유익하다. 여기에서 PIV광원으로서 매력 있는 수W이상의 출력을 얻기 위해서는 멀티모드 · 멀티미터의 출력을 합성한위에 시트 빔화 할 필요가 있다. 폐사에서는 독자의 얼라이언트 방법과 시트화 광학계의 개발을 행해, 결과 5 W의 고풍력과 충분한 품질의 시트 빔 두께 (≤ 1.5 mm)를 양립할 수 있었다.

파장이 적색대(640 nm)인 것은 종래의 녹색대 레이저와 비교해서 목시 관찰을 행하는 경우는 비시감도(比視感度)의 낮음에서 약간 불리(같은 파워에서는 어둡게 보인다)하지만, 카메라파장감도의 관점에서는 각사 몇 가지 다른 것의 녹색과 적색에서 큰 차 없는 것이 많아 PIV계측에 있어서는 문제로 되지 않는다.

4. 결론

고출력 반도체 레이저의 용도전계의 일례로서 검사용도용의 레이저 형광여기(LDP)방식 고풍도 백색광원과 유체계측(PIV)조명용의 시트 빔 레이저를 소개했다. 어느 것도 반도체 레이저의 우수한 특성을 살린 지금까지 없는 조명광원이다. 특히 후자의 PIV용 시트 빔 레이저는 종래의 DPSS에 비교해서 단순한 구성에서 소형인데다 고효율인 조명광원으로서 호평을 받고 있고, 현재 자동차산업용을 비롯해 공조, 프로세스관리 등 여러 용도에

사용되고 있다.

반도체 레이저가 가진, 소형 · 고효율 그리고 UV~IR에 이르는 각종 파장이 얻어진다고 하는 우수한 특성은 본고에서 언급한 용도에 한정하지 않고, 여러 계측 · 검사용도로 살릴 수 있다고 생각하고 있고, 시장요구를 파악한 제품을 이후도 개발해 나갈 생각이다.

참고문헌

- 1)「解説 레이저-조명 · 디스플레이」(オプトロニクス社, 2016)
- 2)畑中秀和, 矢野一晃, 小田史彦: ウシオ電機株式会社 ウシオ技術情報誌「ライトエッジ」No. 37(2012年6月)
- 3)レーザー照明 · 레이저디스플레이に関する最新動向調査(オプトロニクス社, 2014)
- 4) Necsel 社 Web site: <http://necsel.com/application/remote-source-lighting>
- 5) Kwak, Namhyeok, et al. "Laser Headlamp Based on Laser Activated Remote Phosphor." 16th International Symposium on Automotive Lighting - ISAL 2015 - Proceedings of the Conference: Volume 16. Herbert Utz Verlag, 2015.
- 6)M. ラッフェル他「PIVの基礎と応用 粒子画像流速測定法」(シュプリンガー · フェアラーク東京, 2000)