

광학 포커스

레이저(5)

※이 글은 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업의 연구보고서로서 한국표준연구소에서 연구한 '레이저 응용기술 개발을 위한 사전 연구'에서 발췌한 것임을 밝힌다.

제4절 분광학 및 광산란

1. 서론

레이저 분광학 분야는 레이저의 출현과 광 검출장치의 발달로 빛을 통해서 원자나 분자의 양자 역학적 구조와 물질의 여러 가능한 상태(기체, 액체, 고체, 플라즈마)에서 양자 역학 및 통계 역학적 정보를 보다 정밀하게 찾아낼 수 있는 연구 분야이다. 특히 레이저의 가간섭, 높은 강도와 좁은 선폭을 갖는 특징을 이용하여, 천이선의 선폭 확대나 측정 장치의 분해능의 저하에 의한 한계를 극복할 수 있기 때문에 최근에 급속하게 확산되고 활발히 연구되고 있는 분야이며, 이러한 레이저 분광학이 응용되고 있는 범위는 다음과 같다.

- 기초 연구 분야
 - 물리 상수 측정
 - 원자와 분자의 물리, 화학적 성질 연구
- 첨단 기술 응용 분야
 - 동위 원소 분리
 - 광화학 반응
 - 대기 및 환경 연구
 - 생물 및 의학적 응용
 - 초미세 시료에 대한 연구

이와 같이 레이저 분광학은 넓은 응용 분야를 가지고 있기 때문에 국제적으로는 활발하게 연구하고 있으며, 연구 결과는 다수의 국제 회의 및 학회지에 보고되고 있다. 그러나 레이저 분광학 분야가 여러 장비들이 필요하기 때문에 국내에서는 아직 활발하게는 연구되지 못하고 있는데, 우선은 많은 사람의 관심 대상이 되고 또한 다른 분야로의 파급성도 크고, 응용 가치가 높은 분야를 설정하여 집중적인 연구를 하는 것이 필요하다.



레이저 분광학 분야는 레이저의 출현과 광 검출장치의 발달로 빛을 통해서 원자나 분자의 양자 역학적 구조와 물질의 여러 가능한 상태(기체, 액체, 고체, 플라즈마)에서 양자 역학 및 통계 역학적 정보를 보다 정밀하게 찾아낼 수 있는 연구 분야이다.



광산란 분야는 광속과 산란 계와의 상호 작용에 의하여 산란계의 특성을 알아내는 것으로, 레이저의 출현으로 산란 입자의 가속 및 포획, 입자의 결합 및 분리, 공중 부양 등을 할 수 있기 때문에 광산란 연구에 많은 기여를 하게 되었는데, 광산란 연구의 응용 범위는 다음과 같다.

○탄성 산란의 응용

-미립자의 물리적 특성 연구

:입자 농도, 입자 크기, 입자 크기 분포, 입자 형태 측정 등

-구름 및 에어로졸 연구

○비탄성 산란의 응용

-액체, 기체 연소 과정 연구

-확산 계수의 측정

-유속 측정

-스펙클 병진 속도 측정

-비대칭 스펙트럼 측정

위와 같이 광산란 연구는 많은 응용 분야를 가지고 있기 때문에 국제적으로 활발하게 연구되고 있으며 국내에서도 많은 연구가 진행되고 있으나 앞으로는 정확도 향상에 관한 연구를 해야 한다.

한편 비선형 현상중의 하나인 광쌍안정 연구에 의한 광학적 자료 처리 장치에 응용, 혼란 현상 연구, 고차 고주파 발

생, 위생 공역과 발생 등 여러 비선형 광학 분야의 연구도 국내외적으로 활발하게 연구되고 있으며, 앞으로 응용 분야는 점점 넓어지게 될것이다.

2. 특 징

레이저가 출현하기 전의 고전적인 분광학 방법은 다음과 같다.

○흡수 분광학

○형광 분광학

○라만 분광학

고전적인 분광학 방법에서도 광원으로 레이저를 사용하면 강도가 매우 향상되지만, 레이저 광은 다른 광원에 비해 출력이 세고 직진하며, 발진 주파수의 선평이 매우 좁은 장점으로 인하여 고전적인 선형 분광학과는 다른 많은 새로운 분광학 분야를 탄생시켰다.

○비선형 분광학

-Raman Induced Kerr Effect Spectroscopy

-Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy

-Hyper Raman Spectroscopy

-Stimulated Raman Spectroscopy

-High-Resolution Sub-Doppler Spectroscopy

-Ultra High-Resolution Phase Modulation Spectroscopy

○Soft-mode라만 분광학

○표면 증강 라만 산란(SERS)

○시 분해 분광학 (TimeResolved Laser Spectroscopy)

한편 레이저 분광학을 특성 상으로 나누면 다음과 같다.

○시간 상에서의 측정

-극초단 펄스레이저를 이용하여 순간적으로 일어나는 현상에 관하여 연구하는 분야로 고출력 펄스 레이저가 필요하며, 응용 범위는 반도체 및 광전자 소자 및 집적회로, 원자, 분자의 여기 상태의 이완 현상 및 광반응 등에 응용한다.

○주파수 상에서의 측정

-고분해 측정을 하기 위하여 레이저의 발진 파장을 연속적으로 변화시킬수 있는 색소 레이저, 칼라센타 레이저, 반도체 레이저 또는 기체 레이저 등을 이용하여 할 수 있는데, 특히 이러한 레이저를 주파수를 안정화시키고 새로운 기술을 도입하면 분자나 원자의 여기 상태의 에너지 준위 등에 관한 많은 정보를 얻을 수 있다.

이러한 분광학 응용에 반드

시 필요한 것은 레이저의 성능을 향상시키는 것이다. 즉 주파수와 출력의 안정화 그리고 주파수의 2차, 3차, 4차 조화파 발생 및 여러가지 비선형 현상을 이용한 주파수 변조 등이 있다. 이러한 레이저의 성능 개선은 레이저 분광학 분야를 확대하고 많은 정보를 얻는 데에는 필수적으로 해결해야 할 문제이다.

광산란 분야는 레이저가 출현해 이전에도 많은 연구가 되었으나, 레이저의 높은 간섭성, 출력안정, 주파수 안정, 주파수 가변, 높은 강도 등 특성에 의하여 다음과 같이 광산란 분야가 향상되게 되었다.

- 고정밀 광산란
- 고정밀의 스펙클 간섭계
- 공명 광산란
- 광 부양 연구 등

이와 같은 레이저 광산란 분야는 간단한 실험 장치로 많은 응용 결과를 얻을 수 있기 때문에 많은 연구가 진행되고 있는데, 특히 비접촉, 비파괴적으로 산란계를 연구할 때 유용하다.

그 밖에 광쌍안정 현상 및 위상 공액파 발생 등 비선형 광학 분야는 레이저가 출현함으로써 알려진 분야로 앞으로 레이저 광학 발전의 주도적인 역할을 담당하기 때문에 계속

적으로 연구하여 비선형 광소자를 집중적으로 개발할 필요성이 있다.

3. 종류 및 세부 분야

가. 레이저 분광학

1). 시간 상에서의 측정

가) 특 성

여기에 필요한 레이저는 펄스레이저를 사용하여서 분자를 일단 여기 상태에 있게 한 후에 이 상태가 시간에 따라서 어떻게 이완되느냐를 관찰하는 것이다. 이것은 원자 및 분자의 연구 뿐 아니라 반도체, 광전자 그리고 금속, 재료 등의 분야에도 응용될 수 있다.

나) 필요한 레이저

mode-locked, Ar⁺, Kr⁺ Dye laser
Q-Switched Nd : YAG laser
mode-locked Nd : YAG laser
Q-switched Nd : Glass laser
Excimer laser

다) 종 류

time-resolved emission spectroscopy
flash-photolysis
quantum-beat spectroscopy
photon-echo spectroscopy
transient-grating spectroscopy
free-induction decay
pulse-FT spectroscopy
optoelectronic sampling

time-resolved transient absorption spectroscopy

2) 주파수 상에서의 측정

가) 특 성

여기서는 레이저의 주파수를 안정화 또는 연속적으로 가변할 수 있는 레이저를 사용하여 주파수 상에서 물질의 여기 상태 및 특성을 조사하는 연구 분야이다.

나) 필요한 레이저

- Ar⁺, Kr⁺, He-Ne laser
- cw dye laser (Ar⁺, Kr⁺ Pumped)
- pulse dye laser (Nd : YAG laser, Eximer laser, Nd:Glass laser pumped)
- CO, H₂O, CH₃O, ... laser (FIR 영역)
- 반도체 레이저
- color center 레이저

다) 종 류

- polarization spectroscopy
- laser induced fluorescence
- optogalvanic and ionization spectroscopy
- laser magnetic resonance and stark spectroscopy
- double resonance (optical-optical, optical-rf, optical-microwave) spectroscopy
- two-photon and multi-

- photon spectroscopy
- laser raman spectroscopy
- saturation spectroscopy
- heterodyne spectroscopy

3) 복합적인 측정

가) 특 성

이 분야는 시간 및 주파수 상의 특성 뿐 아니라 다른 분야와의 조합 또는 복합적인 특성을 조사하는 분야이다.

나) 필요한 레이저

여기서는 앞에 나타나있는 레이저의 종류와 중복된다.

다) 종 류

- molecular beam, Ion beam, Supersonic beam을 이용한 laser spectroscopy
- laser isotope separation
- optical cooling and trapping of atoms
- photon recoil
- optical Ramsey fringe

나. 광산란

1) 탄성 산란

가) 특 성

산란 과정에서 산란계의 내부 에너지 변화가 일어나지 않는 것으로, 미립자의 물리적 연구와 관련된 화학, 기상학, 천체 물리학 등의 분야에 이용된다.

나) 종류

- 단일 원자 또는 분자에 의

한 Rayleigh 산란

- 여러 Rayleigh 산란자들에 의한 Rayleigh-Gins 산란
- 거대 분자 또는 수미크론 크기 입자에 의한 Mie-Debye 산란

2) 준탄성 산란

가) 특 성

산란계가 주어진 속도 분포를 가지고 운동할 때, Doppler 효과 등에 의해서 산란광의 진동수가 입사광 진동수와 달라지게 되는데 그 비율이 매우 작아서 무시할 만한 경우이다. 즉 산란된 광속은 주파수의 변화와 선폭의 확대 효과 때문에 수 Hz 에서 수 MHz 범위 속에서 입사 광속의 주파수 특성과 다르게 변화하는데, 이들의 측정은 광자 상관법으로만 할 수 있다. 광자 상관법은 측정계에 접촉에 의한 요동을 주지 않고 계의 역학적 상태를 정밀하게 측정할 수 있으므로, 액체, 기체, 연소 과정, Brown 운동과 같은 확률 과정 연구 분야에 이용된다.

나) 종 류

- Brown 운동을 하는 입자에 의한 광산란(Dynamic light scattering)
- 일정한 속도로 움직이는 거친 면에 의한 산란(Dynamic speckle)

3) 비탄성 산란

가) 특 성

산란계의 내부 에너지가 변화하는 것으로 좁은 의미의 광산란 분야에서는 제외시키는데 레이저 분광학 방법으로 산란자의 양자 역학적 특성을 규명할 수 있다.

나) 종류

- Raman Scattering
 - Brillouin Scattering
- 이와 같은 광산란(탄성 산란, 준탄성 산란) 분야에 사용되는 레이저는 주파수 안정, 출력 안정이 양호해야 하는데 He-Ne 레이저, Ar⁺ 레이저, 색소 레이저 등이 사용되고 있다.

4) 비선형 광학

가) 특 성

레이저의 높은 강도에 의한 물질의 비선형 현상을 이용하여 실시간 상처리 및 광소자 연구에 이용되며 고출력 레이저가 필요하다.

나) 종류

- phase conjugate wave generation
- harmonic generation
- sum frequency generation
- self-focusing
- stimulated light scattering
- optical bistability