한국산학기술학회논문지
Vol. 6, No. 2, pp. 129-133, 2005

고정밀 전하결합장치를 이용한 레이저유도 형광분광기의 설계 및 제작

김기준[1*] · 이후설[1]

The design and Manufacture of Laser Induced Fluorescence Spectroscope Using the High Resolution Charge Coupled Device

Ki-Jun Kim[1*] and Hoo-Seol Lee[1]

요 약 분자 에너지 준위, 분자구조, 흡수, 방출, 상호분자 반응, 또는 약하게 결합된 분자에너지, 광화학, 형광, PDT치료에 관한 연구를 수행하는데 분광계에서 CCD는 매우 중요하다. CCD는 현대 물리화학 분야에서 레이저 분광학에 의한 의공학 및 분자 구조의 연구에 필수적이다. 그리하여 CCD를 이용한 전자기 분광계의 설계 및 제작을 연구하였으며 프린트된 전자회로 및 포르폴린을 분석하였다. 예전에 CCD는 방송장비에만 사용한다고 생각했지만 현대에는 산업발전에 의한 응용으로 로봇공학, 기기분석 및 관측에 대한 산업적 요구에 더욱 많이 활용된다.

Abstract It is very important to use the charge coupled devices (CCDs) in spectrometry because we can study the molecular energy level, molecular structure, absorption or emission, intermolecular reaction, weakly bound molecular energy, photochemistry, fluorescence and photodynamic therapy (PDT). CCD is very essential to study the molecular structure and medical engineering combining laser spectroscopy in the modern physicsal and chemistry. Therfore, this study has designed and manufactured the electromagnetic spectrometry with CCD and then analyzed the printed electronic circuit. In the yesterday, CCD was thought to be used in only broadcasting system. But nowadays, it is used by industrial demand in observations, instrumentations and robotics as the industry develop.

Key Words : charge coupled device, spectrometry, photodynamic therapy, laser spectroscopy

1. 서 론

분광학에서 필요한 정보는 구하고자 하는 성분물질의 물리화학적 성질을 측정함으로써 얻는다. 분석에 이용되는 기기는 넓은 의미에서 정량적인 값을 직접 측정하기 위한 것이 아니고 화학적 정보를 관측하기 쉬운 형태로 바꿔주는 역할을 하는데, 이는 신호전달 장치라고 볼 수 있다. 이러한 목적을 위하여 본 연구에서 다음과 같은 과정을 거친다. 시료자체에서 신호를 발생시키고 그 신호는 PMT(photomultipliertube) 같은 기기는 광에너지를 전기 신호로 바꾸는 전환장치(transducer)로서 원신호 또는 변환된 신호를 증폭하고 그 신호를 다시 눈금 바늘의 이동이나 기록계의 지면에 기록시키는데 검출기로서 CCD를 사용하여 분광 분석을 한다[1]. 분광기의 중요한 구성요소 중 하나는 검출기인데, 이것은 입사 복사선을 전류로 바꾸어서 적절한 신호나 그래프로 나타내는 장치이다. 이러한 검출기로서 전하결합장치(CCD, Charge-Coupled Device)는 복사선 감응 반도체 장치가 점점 더 두드러지게 이용되고 있다[2-4].

전하결합장치(CCD)는 광학적으로 생성된 전하를 2차원적인 배열로 저장할 수 있는 감도가 높은 실리콘 검출기이다. 절연성인 SiO_2 층으로 구성된 다이오드 구조를 만들고 그 위에 전도성인 Si 전극이 장치되어 빛이 P형 영역에 흡수되면 전자가 전도밴드에 주입되고 구멍은 원자가 밴드에 남게 된다[5]. 전하 결합장치는 관측 후 첫 줄의 각 화소에 저장된 전자는 위에 있는 직렬 계산대로 옮겨지고, 한번에 한 화소씩 오른쪽 위칸으로 옮겨져서 저장된 전하가 읽혀진다[6-8]. 이때 검출되는 신호의 감도가 아주 높다.

분광학에서 스펙트럼의 중요한 특징은 전자 전이의 세기이며, 전이의 세기에 준위별 전하 개체수 분포와 전이 모멘트 특성에 따른 영향이 크다. 따라서 전하 결합장치는 크기 및 무게가 작고, 암전류가 적으며 정밀

[1]대진대학교 공과대학 화학공학과
*교신저자: 김기준(kjkim@daejin.ac.kr)

성과 정확성이 높은 영상시스템으로 뿐만 아니라 분광 특성이 우수하여 분자의 에너지 준위와 분자 개체수 분포를 측정할 수 있는 여러 종류의 분광법과 산업에 활용을 제시하고자 분광기를 설계 제작하였다.

인간의 지적 판단 및 고도의 정신적 감정의 원천으로서 눈에 들어오는 정보 즉 화상이 가지는 역할은 크다. 인간의 감각 중에서 시각이 가장 오래 남으며, 알고 싶은 욕망이 강하여 작은 것을 보다 확실히 본다거나 장시간 보관을 위한 수단이 요구되어 왔다. 영상의 기본 구성은 촬영과 수상이다. 여기에서 촬영은 광전변환에 의해 광학적 화상을 전기적 영상 신호로 검출하는 것으로 이것의 역할을 하는 소자가 전하 결합장치인 고체 촬영 소자이다[9]. 전하 결합장치의 발전은 1970년에 출연되어 소형, 경량, 정확성의 장점으로 발전이 가속화되어 다방면에 응용되고 있는 실정이다. 예전에는 인공위성이나 방송국에서만 국한되어 사용되었던 전하 결합장치가 TV와 같이 가정에서 일상 상용화되고 있으며, 특히 산업의 발전으로 관찰, 의료기술, 화상전송, 광통신, 계측, 공업생산, 측정, 교통, 토목건축, 생명공학, 분광분석 등에 광범위하게 사용되고 있다. 전하 결합장치는 크기 및 무게가 작고, 잔상, 암전류 및 화상의 찌그러짐이 적으며, 진공 및 충격의 영향에 강할 뿐만 아니라 전류 소비가 적어 촬영관에 비해 소형경량화, 긴수명, 정확성과 정밀성으로 영상 시스템을 만들 수 있어 주목을 받고 있다. 따라서 고체 촬영 소자의 소형화, 고해상도화, 고감도화 및 다기능화 추세에 부응하여, 본 연구에서 노이즈, 분광특성과 전송효율이 우수하여 X-선 현미경 기능 및 스펙트럼을 동시에 측정하는 분광기를 설계 제작하였다. 빛이 물질과 상호작용하면 반사, 산란, 형광 또는 인광의 재방출, 그리고 광화학적 반응, 즉 흡수와 결합 분해(bond breaking) 등이 일어난다[10]. 빛은 에너지이기 때문에 물질이 빛을 흡수하면 분자 혹은 원자의 에너지량이 증가한다. 분광 광도계의 디자인에서 구성요소는 다음과 같다.

이상적인 광원은 매우 작은 노이즈와 천이를 가지고 장시간의 안정성을 유지해야 하며 전파장에 걸쳐 일정한 세기의 빛을 주고자 Ar이온 레이저를 사용했으며 홀로그래픽 그레이팅을 3개 가진 단색화 장치를 사용하며 파장에 따른 분산이 선형현상이며 온도에 따라 변화가 거의 없고, 원하는 빛만 검출기에 도달할 수 있도록 필터를 사용한다. 검출기는 광신호를 전기적으로 신호로 바꾸는데 열전자적으로 냉각을 -70°C까지 할 수 있는 열전 냉각 CCD(TE/CCD)를 사용하여 낮은 노이즈와 높은 강도를 가지고 전 파장에 걸쳐 일정한 반응을 PMT으로 증폭 단계를 거치면서 신호 변환을 결합한다.

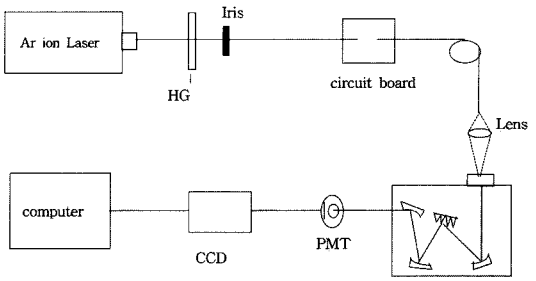


그림 1. 영상 분광계의 개략도

본 연구에서 설계 제작한 분광 광도계의 개략도는 [그림 1]과 같으며 430.5 nm의 아르곤 이온 레이저를 전자회로에 직각이 되도록 조절하고, 이 때 레이저와 전자회로 사이에 1 mm 직경의 적외선경보시스템(iris)을 설치하였다. 전자회로에 입사한 빛을 광섬유를 이용하여 모았으며, 이렇게 모여진 빛을 분광계에 모아서 PMT로 증폭된 광자를 전하 결합장치로 영상과 스펙트럼을 측정하였다. 빛살이 회절격자에서 분산된 다음 전하 결합장치에 닿고 전지신호로 변환되며 전기신호는 증폭되어 동시화된 정류기(synchrous rectifier)에 전달되고 슬릿과 전하 결합장치에 연결되어 움직이며 복사선 세기를 일정하게 유지시켜 둔다.

시료 장착부분을 조절함에 따라 흡광, 투광, 산란을 측정할 수 있을 뿐만 아니라 LIF(laser Induced Fluorescence)까지도 가능하여 PDT(photodynamic therapy)에 큰 기여를 할 것이다.

2. 실험기기 및 방법

검출기로 자외선 섬광기(lumagen)으로 코팅된 열전냉각 CCD(TE/CCD)는 격자 전사 칩이 1152×1242이고, CCD의 조절기(ST-113), CCD 어댑터(F-mount)와 영상 출력의 소프트웨어인 데이터 수집 보드를 미국 Princeton Instruments사에서 구입하여 콤퓨터 연결 장치를 구성하였다.

Single line mode의 연속파(CW)아르곤 이온 레이저는 광원으로 미국 Coherent사의 모델 innova 70을 사용했고, 분광계(Acton Research사)는 넓이를 조절할 수 있는 정밀 조절계가 2개 설치되어 정확성이 우수하다. 회절격자는 300, 1200, 2400 grove/min 이 3개가 내장되어 있어 영상 분광계와 분광 그래프에 사용된다. 따라서 그래픽 디스플레이는 single strip 그래프와 3D 그래프로 측정할 수 있다. Neutral density 필터(Esco사, 밀도 1.97)와 광섬유(직경 4 mm)를 사용했으며, morphine은 Exiton사의 G.R급을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

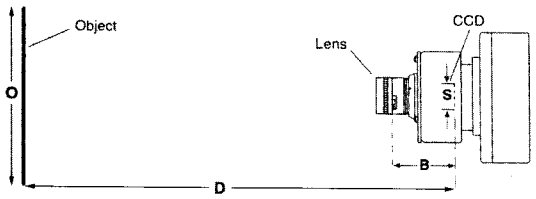
TE/CCD의 2차원적 영상은 같은 초점거리를 가진 카메라에 의한 상과 크기가 주어진 거리에서 약간 차이가 난다[그림 2]. 이를 보정한 영상의 크기, M은 다음과 같다.

$$M = \frac{FD}{(D-B)^2} \quad (1)$$

또한 거리 D에서 상의 수직 또는 수평상의 크기 O는 다음과 같다.

$$O = \frac{S}{M}$$

최첨단 반도체 소자인 전하결합장치형 고체 촬영소자는 종래 촬영관의 광전변환 기술과 반도체 집적회로 제조 기술이 복합된 소자로 열적 전자 냉각기(peltier-effect)의 외관은 [그림 3]과 같다. 전하결합장치가 있는 부분은 cold finger이고, 뒤 부분은 진공상태로 열이 제



D: 목적물과 CCD 사이의 거리(distance between the objec and CCD), B: CCD 어댑터의 거리(distance for the CCI adapter), F: 렌즈의 초점거리(local length of lens), S: 거리 I 에서 CCD영상의 수평또는 수직면적을 의미(CCI horizontal or vertical field of view covered at a distance D), M 배율(magnification)

그림 2. 2차원적 영상응용을 위한 기기분석장치의 개략도임

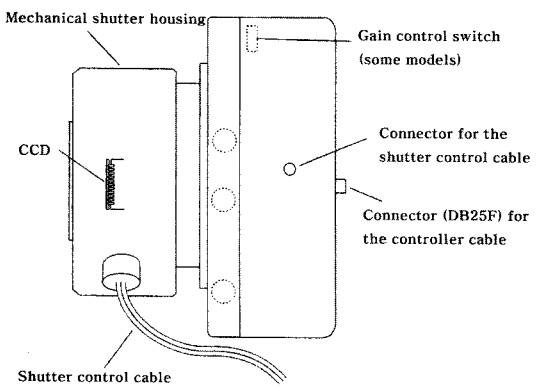


그림 3. TE/CCD의 개략도

거되는 영역이 조합되어 노이즈를 최소화하며, 신호는 순간적으로 증폭되어 구동 보드에 정렬되며 RF(radio frequency)를 제공한다. 전하결합장치 뒷부분은 냉매없이 -40°C까지 팬만으로 냉각되며, 질소 기체가 채워져 있으므로 -70°C까지 냉각될 수가 있다.

[그림 4]는 morphine 구조식을 나타낸 것이고, [그림

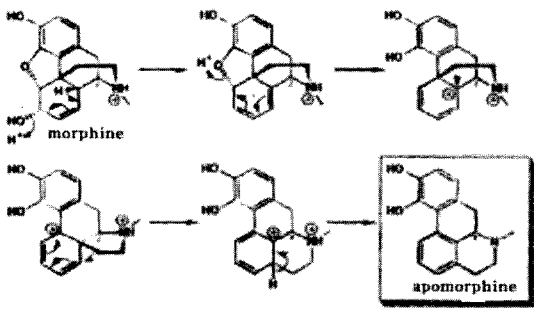


그림 4. Morphine의 구조

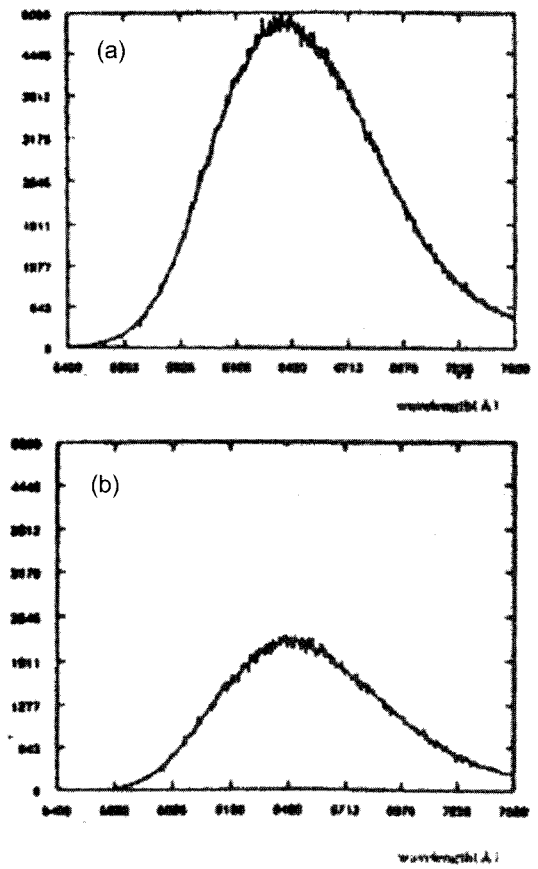


그림 5. Morphine의 형광 스펙트라(레이저 광원 중심에서 광섬유까지 거리의 함수 : (a) r= 0.5 cm, (b) r=1.5 cm)

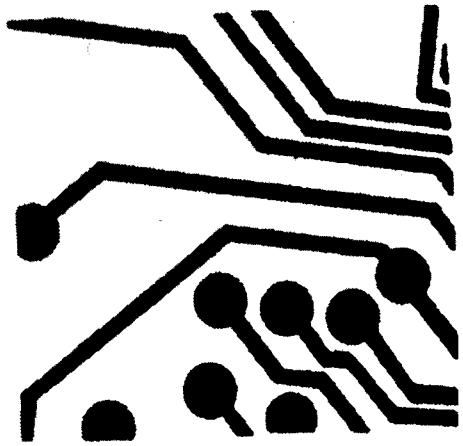


그림 6. CCD에 의한 프린트 전자 기판 회로

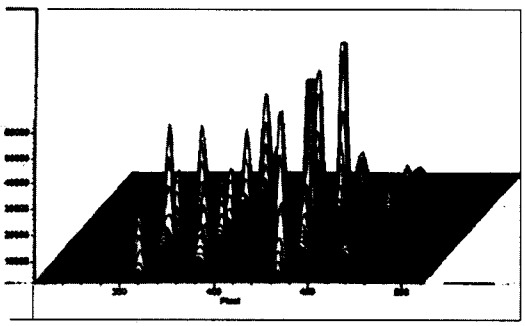


그림 7. Ar 이온 레이저의 세기: 3D 그래프

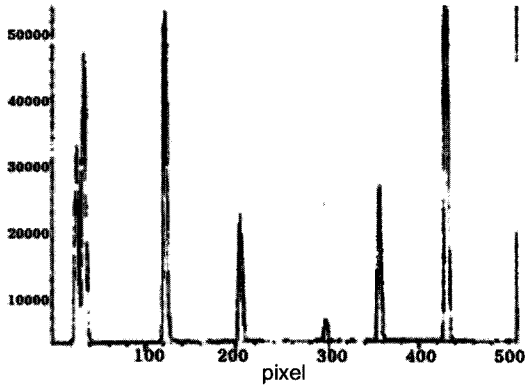


그림 8. Ar ion laser의 고정밀 스펙트럼

5]는 morphine의 형광방출 스펙트럼을 광원에서 광섬유까지의 거리에 따라 측정한 형광세기를 도시하였다.

[그림 6]은 프린트 전자 기판의 표면에 대한 미소변위 상태를 2차원 전하결합장치 소자와 레이저 스펙클(laser speckle)방법을 이용하여 측정하였다.

[그림 7]은 광원으로 Ar 이온 레이저의 세기를 3D

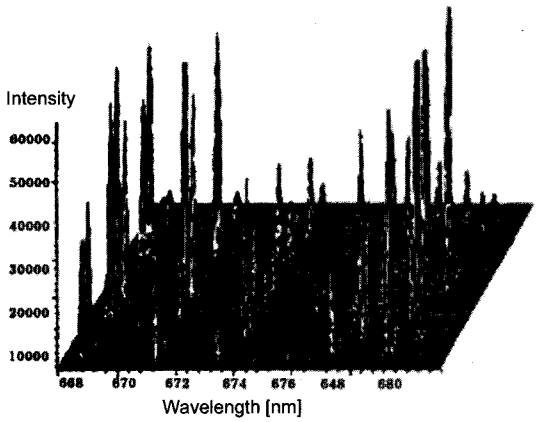


그림 9. He-Ne 레이저의 고정밀 그래프

그래프로 나타내고, [그림 8]은 이에 대한 스펙트럼을 도시하였다.

[그림 9]는 전하결합장치 검출기로 측정한 Uniphase 사의 He-Ne 레이저의 세기를 668 nm 부터 스캐닝한 그래프이다.

4. 결 론

혼탁물질의 phantom 속에서나 고체물체의 표면에서 산란된 레이저 광이 생성되어 스펙클 영상과 스펙트럼을 빛에 대한 물리화학적 반응으로부터 얻고, 그것의 상호상관 함수는 스펙클 변위로 물질에 대한 정보를 알 수 있다. 따라서 전하결합장치 검출기를 이용하여 물체 이동 전후의 스펙클 무늬를 측정하고 영상 변위값을 PC로 연결한 전하결합장치 활용방안은 PDT(photodynamic therapy), 미생물, 위성측정 및 대기오염 등에 광범위하에 사용할 수 있다. 따라서 본 연구에서 CCD를 이용한 laser induced flourescence 분광기는 노이즈 감쇠가 크고, 분광특성과 전송효율이 우수하여 X-선 현미경 기능, 스펙클 영상 및 스펙트럼을 동시에 측정하는 분광기를 설계 제작하였다.

참고문헌

[1] Hu J. S., Song M., and Sun Y., "Optical Engineering", 38(7), pp. 1200-1204, 1999.

[2] Cipelletti L.and Weitz D. A., "Review of Scientific Instruments", 70(8), pp. 3214-3221, 1999.

[3] Nikzad S., Yu Q. M., Smith A. L., Jones T. J., Tombrello T. A., and Elliott S. T., "Applied Physics Letters", 73(23), pp. 3417-3419 , 1998.

[4] Li Y. Q., Sasaki S. Y., Inoue T., and Ogawa T., "Ana-

lytical Sciences", 13(10), pp. 123-131, 1997.
[5] Pace E. and Tommasi L., "Review of Scientific Instruments", 69(4), pp. 356-367, 1998.
[6] Baldacchino G. and Hickel B., "Review of Scientific Instruments", 76(3), pp. 1871-1879, 1998.
[7] Hawkes N. C., "Review of Scientific Instruments", 68(5), pp. 485-494, 1997.
[8] Yamauchi T.and Dimock D., "Review of Scientific Instruments", pp 68(6), pp. 992-1012, 1997.
[9] Reich R. K., Mcgonagle W. M., Gregory J .A., Mountain R. W., Kosicki B. B., and Savoye E. D., "Review of Scientific Instruments", 68(1), pp 12-17, 1997.
[10] Hicks D. G., Li C. K., Petrasso R. D., Seguin F. H., Burke B. E., Knauer J. P., Cremer S., Kremens R. L., and Cable M. D., "Phillips TW, Review of Scientific Instruments", 68(1), pp. 232-239, 1997.

김 기 준(Ki-Jun Kim) [정회원]

- 1982년 2월: 고려대학교 화학과 (이학사)
- 1985년 2월: 고려대학교 화학과 (이학석사)
- 1992년 2월: 아주대학교 화학과 (이학박사)
- 1995년 2월~현재 : 대진대학교 화학공학과 부교수

<관심분야>
공업화학, 고분자화학, 정밀화학, 생물물리화학

이 후 설(Hoo-Seol Lee) [정회원]

- 1978년 2월 : 원광대학교 화학과 (이학사)
- 1980년 2월 : 원광대학교 화학과 (이학석사)
- 1988년 7월 : 고려대학교 화학과 (이학박사)
- 2005년 3월 : 대진대학교 화학공학과

<관심분야>
Biomembrane, 생물화학공학