

論 文
35~9~1

색소레이저 펌핑을 위한 HCP의 개발

Development of HCP Device for Dye Laser Pumping Source

呉喆漢* · 朴德圭** · 李成萬***
 (Chul-Han Oh · Duck-Kyu Park · Sung-Man Lee)

Abstract

The HCP(Hypocycloidal Pinch) device for plasma focus was modified for a pumping source of the dye laser, and the spectral distribution and time behavior of its light pulses were investigated by using a UV spectrometer, 70 MHz CRO and Si-PIN photodiode detector.

An array of multiple stages of HCP and narrower electrode gaps were chosen in order to make a more uniform discharge along the HCP axis.

The possible spectral range for the pumping of dye laser is 360~620nm, when the HCP is operated at 5~8kV of applied voltage and 50~150Torr of Ar fill gas pressure. The rise-time and FWHM of light pulses from the HCP are 5 μ s and 30~50 μ s respectively when it is operated under the same conditions as above.

1. 서 론

최근 Hypocycloidal Pinch(HCP) 장치로서 강력한 자외선을 발생시켜 파장이 1.315 μ m이고, 동일 인가전압의 나선형 크세논 싼광관(Helical Xenon flashlamp)보다 5배나 큰 피크 인텐시티(peak intensity)를 갖는 옥소(Iodine) 레이저와 파장이 2.027 μ m인 크세논 재결합(Xenon recombination) 레이저를 펌핑한 보고가 있다¹⁾. 또한 HCP내의 기압을 대기압보다 높은 1000Torr 이상까지 유지시켜 이때 핀치(pinch)된 플라즈마의 방출 스펙트럼이 조사 보고된 바도 있다.²⁾

원래 HCP 장치는 플라즈마의 포커스(focus)를 위한 장치지만 그것의 인덕턴스가 수 nH 이하로서 방전시 발생하는 광펄스의 상승시간이 빠르고 투입 에너지가 석영 싼광관의 explosion limit인 1kJ/inch

보다 2~3 order 크기 때문에 강력한 레이저의 펌핑원으로 기대 되고 있다.^{1)~5)}

본 연구는 HCP 장치를 색소레이저를 펌핑하기에 적합하도록 개선하여 그것의 특성을 조사하는데 목적을 두었다. 종래의 HCP 장치는 대형으로 disk electrode의 hole과 전극사이의 간극(gap)이 너무 크다.^{1)~3)} 색소레이저 펌핑을 위해서는 HCP 내부에서 균일한 방전이 일어나도록 개선하여야 하므로 앞에서 말한 hole과 gap을 작게 설계 제작하여야 한다. UV스펙트로미터로서 인가 전압과 HCP내의 충전 기체의 압력에 따른 광펄스의 스펙트럼의 변화를 조사하고 Si-PIN 포토다이오드(photodiode)로서 인가 전압과 충전 기체의 압력에 따른 강도를 측정하였다. 그리고 로다민 6G와 LD490 색소의 흡수 스펙트럼과 HCP 광펄스의 스펙트럼과의 관계를 비교 검토하여 색소레이저 펌핑에의 적용 가능성성을 밝혔다.

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 HCP의 구조(단면도)는 그림 1과

* 正 會 員 : 慶北大 師範大 物理教育科 教授 · 工博
 ** 正 會 員 : 慶北大 師範大 物理教育科 副教授 · 工博
 *** 正 會 員 : 慶北大 師範大 物理教育科 助教
 接受日字 : 1985年 7月 5日

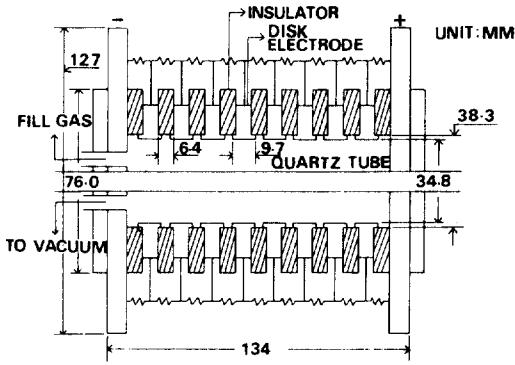


그림 1. HCP의 구조(단면도)
 Fig. 1. The geometrical structure of HCP device.
 (cross section)

같다. 외경과 내경이 각각 62.4 및 34.8mm이고 두께가 6.4mm인 알루미늄으로 만들어진 8개의 disk electrode가 같은 두께의 테플론(teflon) 절연판을 사이에 두고 직렬로 연결되었으며 각 disk 사이에는 진공을 유지하기 위하여 O-링을 사용하였다. Prototype의 HCP¹⁾보다 극판수가 많고 disk의 hole의 반경을 작게 하고, 극판 간격을 좁게 한 것은 HCP 내에 핀치된 플라즈마가 Hypocycloid 형태의 불균일한 포커스를 이루기 때문에 비교적 균일한 방전플라즈마를 장치의 중앙에 형성하도록 하기 위해서이다.

각 전극사이에는 HCP 극판에 radial 방향으로 전류분포를 균일하게 하기 위하여 4개의 저항(1kΩ, 5W)이 병렬로 연결되어 있으며 이들 저항들은 전극사이에서 일정한 전압이 유지되도록 한다. HCP의 전극들은 전원에 대하여 직렬로 연결되었다. 이것은 병렬시보다 HCP측의 임피던스를 전원측에 비하여 증가시킴으로서 HCP측의 소모에너지를 증가시키기 위해서이다.³⁾ HCP의 중앙에는

HCP 측에서 받는 펄스광을 조사하기 위해서는 이 빛을 모두 투과할 수 있는 투명한 관을 넣어야 하는데 가시광에서 UV까지의 스펙트럼을 조사할 수 있도록 석영관을 넣어 두었다. 그리고 HCP의 측면에는 진공장치(Cenco Hyvac7)와 기체 주입장치(Ar tank)가 연결되어 있다.

그림 2는 실험장치 및 방전회로도이다. 용량과 내압이 각각 15μF 및 20kV인 두개의 저임피던스(60nH) 콘덴서가 병렬로 연결되어 있으며 직류 고전원(30kV)에 의해 1MΩ의 안전저항을 거쳐 충전된다. 저임피던스, 대 전류용 spark gap 스위치를 trigger pulse generator(20kV)로 동작시키게 되면 콘덴서에 충전된 에너지가 HCP에 투입된다. 모든 방전회로는 회로의 임피던스를 줄이기 위하여 짧은 동축케이블을 사용하였다.^{1)~3)}

한편 HCP의 각 전극에 균일한 고전압이 순간적으로 걸리게 되면 전극 사이에 있는 절연체의 표면을 따라 표면방전이 일어나고 따라서 표면전류가 흐르게 되며 전류판(current sheet)을 형성하게 된다.¹⁾ 전류판에 의해 유도된 $J \times B$ 의 힘이 전하들을 HCP 중심축상으로 움직이도록 작용하며²⁾ 중심축상에 도달한 전류판은 붕괴되고 플라즈마의 밀도와 온도는 Joule 가열작용과 플라즈마의 충격파 가열등의 가열기구에 의해 크게 증가한다.⁶⁾ 플라즈마 온도와 밀도는 HCP장치의 형태와 기압 그리고 투입에너지에 따라서 달라지는데 이러한 초기조건 변화에 의해 UV에서 가시영역에 이르는 넓은 범위의 발광스펙트럼을 발생시킬 수 있다. 또한 이런 핀치기구(pinch mechanism)에 의해 flashlamp보다 훨씬 큰 광출력 밀도(light power density)를 얻을 수 있다. HCP의 방전에 의해서 발생된 광펄스는 포토다이오드와 CRO에 의해 시간특성이 측정되며 UV 스펙트로미터에 의해 스펙트럼을 분석한다. 이때 사용된 필름은 ILFORD, HP-5 (ASA 400, 흑백필름)이며 마이크로덴시토메터에 의해서 스펙트럼의 상대 강도를 분석하였다. 이 필름의 감도특성은 630nm 이상에서는 격감하고 자외선 부분은 감도가 떨어지나 양호하다. 표준광원(standard source)으로써 감도특성 보증을 하여야 정확하나 그렇지 못하므로 spectral intensity analysis는 절대적이 못 되고 상대적인 비교만 할 수 있다.

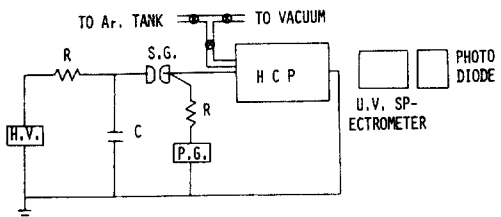


그림 2. 실험장치 및 방전회로
 Fig. 2. The experimental apparatus and electric circuit.

3. 실험결과 및 고찰

HCP에서 발생하는 광펄스는 그림 3에서 보는 것처럼 상승시간(rise-time)이 약 5 μs이며 반복주파

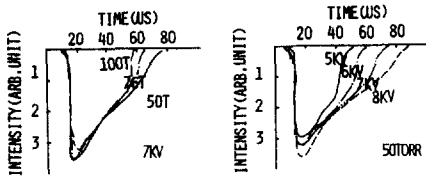


그림 3. 인가전압과 압력에 따른 광펄스의 오실로그래프

Fig. 3. The oscillograms of pumping light pulses at different fill gas pressures and applied voltages.

WHM)는 30~50 μ s이다. 이들 값은 J. H. Lee등¹¹이 다단계 HCP로서 얻은 값과 비슷하다. 그러나 K. S. Han¹²등이 사용한 소형 HCP에 의해서 얻은 값보다는 조금 크다. 그 이유는 사용한 콘덴서의 값이 크기 때문이다. 원편 그림은 인가전압이 7kV일 때 압력을 50, 76, 100Torr로 변화시킨 것이고 오른쪽 그림은 충전기체의 압력을 50Torr로 일정시킬 때 인가전압을 5~8kV까지 변화시킨 것이다. 전압과 압력의 변화에 따라 상승시간의 변화는 미소하게 보이나 압력의 증가에 따라서 피크치는 조금씩 감소하고 반폭치도 감소한다. 전압의 증가에 따라서는 피크치도 증가하고 반폭치도 증가하는 모양을 보이고 있다. 압력이 증가함에 따라 반폭치가 줄어드는 이유는 전류관들이 기압이 증가함에 따라 HCP의 중심축까지 도달하지 못하고 링(ring) 형태의 플라즈마를 형성해 빨리 소멸하는 것에 기인하는 것으로 생각된다!

그림 4는 콘덴서의 충전전압과 HCP내의 아르곤 압력을 각각 5~8kV, 50~150Torr로 변화시키기에 따른 펌핑광의 강도의 변화를 나타낸 것이다. 이 강도는 HCP의 측면의 일정한 거리에서 감도가 600nm에서 0.3A/W인 포토다이오드로써 측정할 것이다.

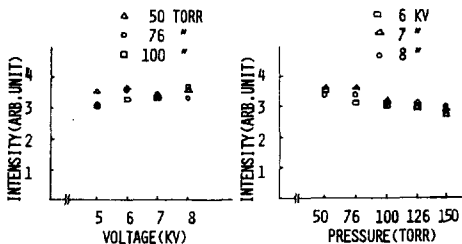


그림 4. 인가전압과 압력에 따른 펌핑광의 강도
Fig. 4. Pumping light intensity vs. applied voltages and pressures.

이 포토다이오드의 감도특성은 물론 파장에 따라 다르다. 그러므로 파장감도 보정을 하여서 검토하여야 한다. 충전전압에 따라서는 강도가 증가하나 아르곤 입력의 증가에 따라서는 오히려 감소한다. 그 이유는 HCP내의 핀치기구에 따라 낮은 기압의 경우 축상에 강한 플라즈마 포커스를 형성하지만 기압이 증가함에 따라 플라즈마 밀도와 온도가 감소하면서 넓은 공간에 플라즈마 상태를 이루기 때문인 것으로 생각된다!¹¹ 따라서 HCP내의 기압의 최적조건은 50Torr 이하에 존재하는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 실험적 여건이 불비하여 못하였지만 50Torr 이하를 해볼 필요가 있다.

그림 5는 인가전압 9.6kV에서 HCP내의 압력을 100Torr 및 50Torr로 했을 때의 스펙트럼의 변화를 나타낸 것이다. Hartmann의 dispersion formula $\lambda = \lambda_0 + \frac{c}{b_0 - d}$ (λ, c, d : 상수)⁸로서 파장을 계산한 결과 두 경우 모두 6183Å에서 3006Å이하의 UV까지 발생함을 알 수 있다. 그리고 최대강도는 5792Å에서 나타난다. 이 결과는 K. S. Han등이¹² 얻은 피크보다는 장파장쪽에 나타났다. 그 이유는 인가전압이 낮고 충전기체의 압력이 높기 때문으로 생각된다.

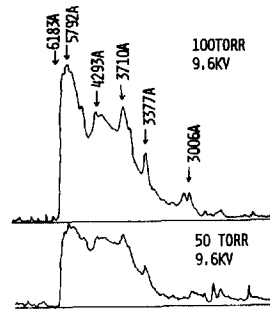


그림 5. 압력에 따른 아르곤 방출스펙트럼의 변화

Fig. 5. Emission spectrum of argon pumping light at different pressures.

여기서 파장감도분포는 사용한 필름이 파장에 따라 감도가 다르기 때문에 표준광원으로써 감도보정을 하여야 절대적인 비교가 된다. 여기서는 그럴치 못하므로 상대적인 비교만 한다. 100Torr일 경우 50 Torr일 때 보다 전반적으로 가시광(360~620nm)쪽에 스펙트럼이 강하며 300nm이하의 UV쪽 스펙트럼이 상대적으로 아주 약하다. 이에 비해 50Torr일 경우 역시 가시영역(360~620nm)쪽이 강하게 나타나며 300nm이하의 UV영역에도 스펙트럼이 상대적

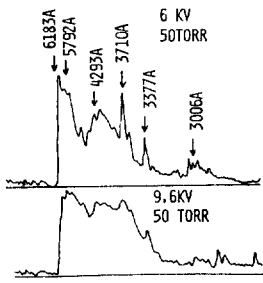


그림 6. 전압에 따른 아르곤 방출스펙트럼의 변화

Fig. 6. The spectrum change of argon pumping light at different applied voltages.

으로 강하게 나타남을 알 수 있다. 그 이유는 플라즈마온도와 밀도가 증가하면 방출스펙트럼이 단파장쪽으로 이동하기 때문이다.⁷⁾ 펄스의 호화도는 현상조건에 따라 다르기 때문에 이것도 각 회마다 상대적으로만 비교할 수 있다.

그림 6은 50Torr의 HCP내의 아르곤압력 하에서 인가전압을 6kV에서 9.6kV로 바꾸었을 때의 방출스펙트럼의 변화를 나타낸 것이다. 두 경우 모두가 시영역쪽(360~620nm)이 강하게 나타난다. 그러나 360nm이하의 UV쪽은 9.6kV일때가 가시영역쪽에 비하여 상대적으로 조금 더 강하게 나타난다. 따라서 같은 압력하에서 전압을 증가시키면 가시영역도 증가하지만 UV쪽의 강도가 상대적으로 더 증가한다.

그림 7은 인가전압과 HCP내의 아르곤 압력이 각각 9.6kV, 50Torr일때의 방출스펙트럼과 UV 흡수 스펙트로미터로 조사한 Rhodamine 6G 색소와 LD 490 색소의 흡수스펙트럼을 나타낸 것이다. Rhodamine 6G의 흡수밴드의 중심파장인 400nm 근처에 강한 방출스펙트럼이 분포함을 알 수 있다. 따라서 로다민 6G(600nm 레이저)에서 LD490(490nm)까지의 색소를 펌핑하여 레이저를 발진하는데 이용할

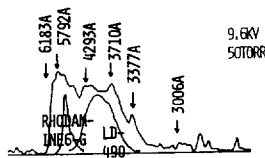


그림 7. 방출스펙트럼과 색소의 흡수밴드와의 관계

Fig. 7. The relation between argon pumping and absorption band of dyes.

수 있을뿐 아니라 흡수대가 360nm에서 620nm 이내에 속하는 모든 색소를 Lasant로 한 색소레이저의 개발에 이용할 수 있다.

4. 결 론

플라즈마 포커스용 HCP 장치를 레이저 펌핑에 적합하도록 소형으로 제작하여 아르곤을 충전기체로 사용하였을때 다음과 같은 광펄스의 특성이 나타난다. 인가전압과 아르곤압력을 각각 5~8kV와 50~150Torr로 변화시키기에 따라 HCP의 광펄스는 상승시간이 약 5μs이다. 반폭치는 압력증가에 따라서 감소하고 전압의 증가에 따라서 증가한다. 펌핑광의 강도는 충전전압에 따라서는 증가하나 압력의 증가에 따라서는 감소한다. 따라서 압력에 대해서는 50Torr이하에 최적치가 존재한다. HCP의 방출스펙트럼은 620nm에서 360nm까지가 강하며 300nm이하의 UV도 발생한다. 기압이 높고 인가전압이 낮으면 장파장쪽에 강하게 나타나며 압력이 낮고 인가전압이 높으면 단파장쪽의 강도가 상대적으로 증가한다. 따라서 중심흡수 파장이 각각 530nm와 400nm인 Rhodamine 6G와 LD490을 펌핑할 수 있으며 흡수대가 620nm에서 360nm이내에 속하는 색소를 Lasant로 한 색소레이저는 모두 펌핑이 가능하다.

謝 辭

본 연구는 84년도 韓國科學財團 연구비로 수행되었음을 밝히고 이에 감사를 표한다. 그리고 본 연구의 주과제인 HCP는 NASA(Langley)의李白鉉 박사님의 특허물인데 이의 사용을 허락하고 설계·제작 및 동작에 이르기까지 각별한 지도를하여 주신데 대하여 심심한 사의를 드리는 바이다.

참 고 문 헌

- 1) J.H. Lee, D. R. Mc Farland and F. Hohl, "Ultraviolet Laser Excitation Source", Appl. Optics, Vol.19~19, pp.3343~3348, 1980.
- 2) K. S. Han, D. K. Park and J. H. Lee, "A High Pressure Plasma Source for Pumping Atomic Iodine Lasers", Virginia J. of Science, Vol.35-3, pp.169~177, 1984.
- 3) 오철한, "Segmented Coaxial Discharge에 의하여 펌핑한 색소레이저", 새물리, Vol.22-4, pp.330~334, 1982.

- 4) H. Rieger and Kyekyoon Kim, "Optical Pumping of Dye Laser with an Array of Plasma Pinches", J. Appl. Phys. Vol. 52-8. pp. 5381 ~ 5382, 1981.
- 5) H. Rieger and Kyekyoon Kim, "Performance of an Array of Plasma Pinches as a New Optical Pumping Source for Dye Lasers", J. Appl. Phys. Vol. 54-11, pp. 6199 ~ 6212, 1983.
- 6) F. F. Chen, *Introduction to Plasma Physics*. Plenum Press, pp. 312 ~ 315, 1974.
- 7) K. S. Han, S. H. Nam, J. H. Lee, "High Power Blue-Green Laser by Hypocycloidal-pinch Plasmas", J. Appl. Phys. Vol. 55-11, pp. 4113 ~ 4115, 1984.
- 8) Ralph A. Sawyer, *Experimental Spectroscopy* Prentice-Hall INC, New York, pp. 236 ~ 253, 1951.