

셀레늄증기 다중광선레이저의 헬륨 순도에 따른 광이득과 출력특성

(optical gain and output characteristic
of selenium vapour multiline laser on purity of helium)

최상태*

(Sang - Tae Choi)

요 약

본 연구의 목적은 헬륨의 순도가 셀레늄증기 레이저에서의 출력특성과 광이득에 미치는 영향을 측정, 비교해보는 것이다. 헬륨의 순도는 특수 헬륨필터로써 개선하였다. 본 측정에서는 개개의 선들이 복굴절필터에 의해서 선택되어졌다. 대부분의 선들이 헬륨필터를 사용한 레이저에서 더 높은 output-coupling 출력과 소신호 이득을 보여 주고, 특히 강력한 선들(497.6 nm, 499.3 nm, 506.9 nm, 517.6 nm, 522.8 nm, 530.5 nm)과 청색선(460.4 nm, 464.8 nm) 및 적색선(644.4 nm, 649.1 nm)에서 현저히 더 높은 값을 보여 준다.

Abstract

The purpose of this study is to measure and compare the output power characteristics and optical gain for selenium vapour laser depending on the He gas purity. The purity of the He gas was improved with a special He-filter. During the measurement the individual wavelengths were selected with a birefringent filter. The result shows that compared with those of laser without He-filter, the output-coupling power and small signal gain of laser with He-filter increase in the most of the lines. Especially, the output-coupling power and small signal gain for the strong lines (497.6 nm, 499.3 nm, 506.9 nm, 517.6 nm, 522.8 nm, 530.5 nm), blue(460.4 nm, 464.8 nm) and red(644.4 nm, 649.1 nm) lines lies notably higher.

Key Words : selenium vapour laser, He-filter, output-coupling power, small signal gain, birefringent filter

1. 서 론

다중광선 레이저인 셀레늄증기레이저는 서로 다른

파장을 가진 수십개의 광선들을 가시광역대와 적외선영역에서 방출하고 있다[1-2]. 가시광역대에서 많은 수의 선들을 방출함으로써 광학재료나 광학소자들의 특성을 검사할 수 있을 뿐만 아니라 스펙트럼분석기에서 파장의 눈금을 표시하는데 아주 적합하다. 화학처리공학에서는 복굴절필터를 장착한 셀레늄증기 다중광선레이저가 처리과정을 감독하는데 사용된

* 주저자 : 경주대학교 컴퓨터전자공학부 조교수
Tel : 054-770-5180, Fax : 054-748-2895

E-mail : stchoi@kyongju.ac.kr

접수일자 : 2002년 8월12일

1차심사 : 2002년 8월20일

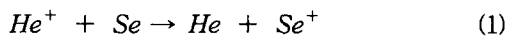
심사완료 : 2002년10월22일

다. 의학에서는 다중광선레이저를 사용하여 내시경의 진료능력을 높일 수 있으며, 또한 부차적인 정보를 얻을 수 있다. 적, 청, 녹색의 삼원색의 선택이 가능한 셀레늄증기레이저[3]는 TV전송기술에서 고속으로 천연색사진을 주사하여 그것을 전자장치를 사용해서 저장하거나 재생할 때 특히 적합하다.

본 연구의 목적은 셀레늄증기레이저에서 충전가스로 사용하는 헬륨의 순도를 향상시켜서 개개의 선들에 대한 레이저의 특성을 광이득과 출력의 측면에서 비교 측정하는데 있다. 개개의 선들에 대한 레이저 변수들은 서로 큰 차이를 보이기 때문에 레이저 전체출력을 측정하기보다는 각 선들에 대한 개별적인 출력을 측정해야만 한다. 개개의 선들에 대한 레이저출력은 헬륨가스의 순도의 영향을 다르게 받을 수 있다. 헬륨의 순도는 특별히 제작된 필터에 의해서 향상될 수 있다. 각 선들을 비교하기 위하여 헬륨필터를 통과한 가스와 통과하지 않은 가스를 교대로 사용하여 실시하였다. 가시광역대의 선들을 선별하기 위하여 복굴절필터[4,5]를 사용하였다. 본 연구를 위해서 석영평판으로 구성된 레이저 방출창문을 공진기 내부에 설치하였고, 전체 시스템은 컴퓨터로 제어되는 측정장치를 사용하였다[6].

2. 셀레늄증기레이저의 원리와 구조

셀레늄증기레이저의 능동매질로는 He 글로우방전을 사용한다. 여기서 He은 Se이온을 여기시키는데 펌핑가스로 작용한다. He 원자들은 음극으로부터 방출된 전자들과 충돌하여 이온화되고, 이때 전자들의 에너지를 넘겨받는다. 그림 1에서 보는 것과 같이 He 이온과 Se 원자사이의 전하교환의 과정을 거쳐 여기된 Se 이온이 생성된다.



여기에너지는 Se 이온이 낮은 에너지준위로 천이할 때 레이저광선의 형태로 일부가 방출되고, 계속해서 진공자외선(VUV)의 상태로 여러 가지 파장의 광자를 방출한 후 Se 이온은 이온화의 기저상태에 도달한다. VUV 영역에서의 방출은 가시광역대에서의 방출보다 더 높은 천이확률을 가진다. VUV 광선은 방

전모세관의 내벽으로 흡수되고, Se 이온과 전자의 재결합이 이루어짐으로 인해 낮은 에너지준위는 빠른 속도로 비워진다. 이로써 높은 에너지준위가 낮은 에너지준위와 비교해서 더 큰 밀도로 점유되는 반전분포가 형성되고, Se 이온의 수많은 에너지준위가 여기되어질 수 있으므로 가시광역대와 적외선영역에 걸쳐서 많은 선들을 방출하고 있다.

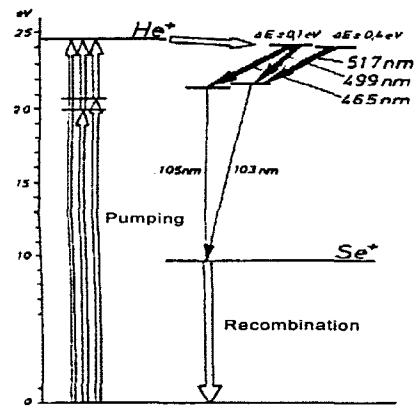


그림 1. 셀레늄증기레이저의 에너지준위도
Fig. 1. Energy level diagram of selenium vapour laser

석영유리와 듀란유리로 이루어진 셀레늄증기 레이저튜브의 구조를 그림 2가 보여준다. 유리관중심을 따라 위치한 석영유리모세관을 통과하여 양극과 음극사이에 He 방전이 일어난다. 모세관의 양극쪽 끝에 위치한 Se 오븐을 가열하면 증기형태의 Se이 방전내부로 확산된다. He 이온과의 전하교환충돌로 생성된 증기형태의 Se 이온은 전기영동(cataphoresis)의 효과로 음극 쪽으로 이동하고 양광주의 길이를 따라 균일하게 분포한다.

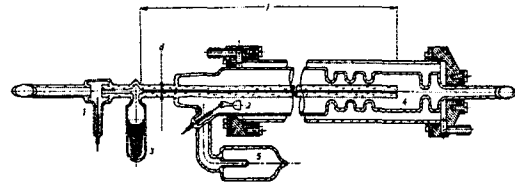


그림 2. 셀레늄증기 레이저튜브의 구조
Fig. 2. Structure of selenium vapour laser tube
(1: 양극, 2: 음극, 3: Se 오븐, 4: 유결방, 5: He 필터, l = 250 mm : 유효모세관 길이, d = 1.5 mm : 모세관 직경)

헬륨증기 다중광선레이저의 헬륨 순도에 따른 광이득과 출력특성

음극에 Se 이온이 충돌하여 화학작용에 의한 음극의 손상을 방지하기 위하여 방전경로가 수냉식의 응결방을 통과하도록 하였고, 음극이 양극 쪽으로 완전히 치우쳐 위치하도록 제작하였다. 이러한 구조에 의해 Se 금속증기는 냉각된 응결방의 안쪽 표면에 달라붙게 되고, 레이저튜브를 냉각시킴으로써 뜨거운 석영유리벽을 통과하여 확산되는 He의 손실을 줄일 수 있다.

3. 헬륨 필터

레이저튜브 내의 헬륨가스의 순도는 그림3의 구조로 제작된 헬륨필터를 통과해서 공급됨으로써 높아진다. 열선의 온도가 높아짐에 따라 석영유리로 만들어진 필터내부가 가열된다. 결정내의 석영분자들의 운동이 활발해지면 석영분자 사이의 공간이 확대되고 더 많은 헬륨원자들이 필터를 통과해 튜브 내부로 확산된다. 반면에 불순물 분자들(O₂, CO₂, H₂O 등)은 헬륨원자보다 훨씬 크기 때문에 석영분자들 사이의 공간을 통과하지 못한다. 헬륨원자는 불순물원자보다 현저히 그 크기가 작아서 쉽게 통과할 수 있다.

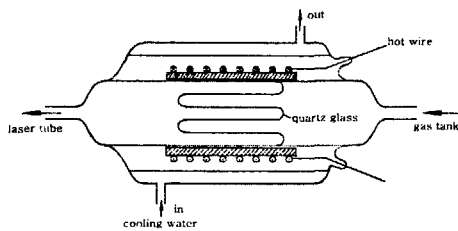


그림 3. 헬륨필터의 구조
Fig. 3. Structure of helium filter

4. 레이저의 output-coupling 출력 및 소신호 이득

본 연구에서는 공진기출력의 일부를 공진기내부에 설치된 석영평판에서 반사에 의해 output-coupling된 출력을 측정하였다. 석영평판의 반사율은 광축에 대한 각도에 따라 변화한다. 반사율 ρ_m^2 의 계산에는 Fresnel 공식이 사용된다.

$$\rho_m^2 = \left(\frac{n^2 \cos \alpha_m - \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_m}}{n^2 \cos \alpha_m + \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_m}} \right)^2 \quad (2)$$

위의 식은 굴절률이 n인 석영평판 표면의 반사율을 입사면에 평행하게 진동하는 레이저광의 편광성분에 대하여 입사각 α_m 의 함수로써 나타내고 있다. 그림 4의 측정장치에서 고정된 석영평판의 입사각 α_m 은 레이저광의 반사손실을 최소화하기 위하여 각 선들에 대한 Brewster각에 근접한 54°로 정확히 고정시켰다.

반사율로부터 output-coupling을 a_m 이 결정된다.

$$a_m = 1 - (1 - \rho_m^2)^4 \quad (3)$$

식에서 지수 4는 광선이 석영평판을 왕복으로 통과할 때의 반사 횟수를 표시한다. 측정장치내의 회전하는 두개의 평판에 대해서도 동일하게 적용된다. 앞의 Fresnel 공식과 output-coupling율은 회전각의 위치에 따라 새로이 결정된다.

$$\rho_{var}^2 = \left(\frac{n^2 \cos \alpha_{var} - \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_{var}}}{n^2 \cos \alpha_{var} + \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_{var}}} \right)^2 \quad (4)$$

$$a_{var} = 1 - (1 - \rho_{var}^2)^8 \quad (5)$$

광경로 내의 2개의 회전평판에 의해 8개의 반사광이 나타나고 지수도 8이 된다. 고정된 석영평판에서의 공진기출력은 다음과 같이 주어진다.

$$P_R = \frac{P_m}{\rho_m^2} \quad (P_m = P_m' \cdot f_c) \quad (6)$$

여기서 P'm은 광검출기에서 읽어들이는 출력이고 f_c 는 광다이오드와 편광판의 손실에 대한 교정인자이다. 두개의 output-coupling율로부터 전체 output-coupling을 a가 주어지고 output-coupling출력 P_a가 결정된다.

$$a = (1 - (1 - \rho_m^2)^4) (1 - \rho_{var}^2)^8 \quad (7)$$

$$P_a = P_R \cdot a \quad (8)$$

광경로축에 대한 석영평판의 각도에 따라 각각 다른 output-coupling을 a 가 주어진다.

레이저의 소신호 이득 g_0 은 레이저빛이 사라지는 순간의 최대 output-coupling을 a_{max} 과의 관계로부터 결정된다.

$$g_0 = -\ln(1 - a_{max}) \quad (9)$$

5. 측정장치의 구조 및 시스템

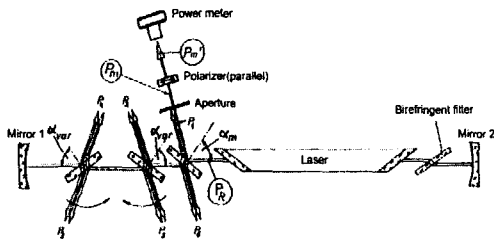


그림 4. output-coupling 출력의 측정구조
Fig. 4. Measuring structure of output-coupling power

레이저출력의 output-coupling에 그림 4의 구조를 가진 측정장치가 만들어 졌다. 이것은 레이저튜브, 공진기거울, 석영평판 그리고 복굴절필터 등으로 이루어졌다. 레이저튜브에서 방출되는 빛은 두 거울사이에서 왕복으로 반사되며, 레이저매질 내에서 증폭된다. 본 측정에서는 좁은 파장영역에서 높은 반사율을 가진 4쌍의 거울이 사용되었다.

첫 번째 석영평판은 광축에 대해 $\alpha_m = 54^\circ$ 의 각도로 고정되어 레이저광의 일부를 output-coupling하는데 기여한다. 이 작은 개개의 파장에 대한 Brewster 각에 아주 근접한 각도이며, 단지 이 평판에서 output-coupling된 레이저광만이 측정되었다. 3개의 유리판의 앞뒤 경계 면에서 반사에 의해 각각 2개의 광선으로 이루어진 출력들이 P_1 에서 P_6 까지 나타난다. 하나의 광선에 대한 측정값으로만 계산이 이루어지므로, output-coupling 평판의 뒷면으로부터 반사된 두 번째 광선은 조리개에 의해 차단된다. 측정기에 연

결된 광다이오드를 통해서 output-coupling 출력이 측정된다. 두 개의 회전평판들의 각도를 변화시킴으로써 output-coupling을 변화시킬 수 있다. 이들은 서로 마주보는 반대방향으로 같은 각도로 회전함으로써 두개의 유리판에 의한 광경로차를 서로 보상한다. 그들의 회전위치에 따라 여러 다른 레이저출력이 output-coupling된다. 최초의 측정 시에는 이들은 각각의 파장에 따른 Brewster 각에 위치하고 있다.

일반적으로 레이저공진기 내에서는 여러 파장의 광선들이 동시에 진동한다. 단일 파장의 선을 선택하기 위해서 공진기 내부에 반사손실이 적은 특수한 복굴절필터를 설치하였다. 이것은 복굴절성질을 가진 결정질로 된 얇은 원판으로 이루어졌으며, 표면에 수직으로 광축의 주위로 회전이 가능하다. 0° 와 180° 의 위치에서는 모든 파장의 선들을 통과시키고, 다른 위치에서는 회전각도에 따라 개개의 선들을 선택할 수 있다. 레이저광은 공진기를 왕복함으로써 광축에 대해서 Brewster 각도로 기울어진 복굴절필터를 두 번 통과한다. 본 연구에서는 독일의 Sprindler & Hoyer 사가 제작한 두께 $800[\mu m]$ 인 하나의 필터를 사용하였다.

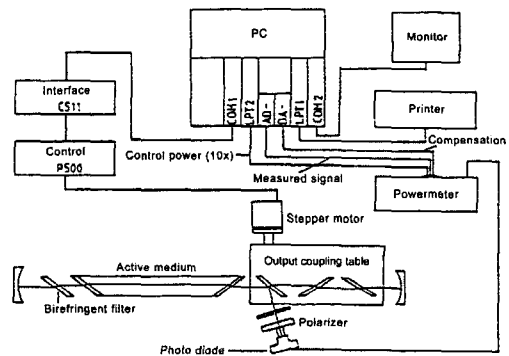


그림 5. 전체적인 측정시스템
Fig. 5. Full measuring system

광다이오드 앞에는 편광판이 있다. 레이저는 공명기내에서 일반적으로 입사평면에 평행한 편광을 방출하지만, 입사면에 수직인 편광이 아주 일부이지만 생성될 수 있다. 특히 레이저광의 편광이 Brewster 창문의 입사면에 상대적으로 어긋날 때는 수직편광

셀레늄증기 다중광선레이저의 헬륨 순도에 따른 광이득과 출력특성

은 측정값을 아주 크게 틀리게 하므로, 이 성분은 차단되어야 한다. 컴퓨터로 제어되는 그림 5의 측정시스템에서, 광검출기에 연결된 출력측정기도 컴퓨터에 연결되어 있다. 공진기출력과 output-coupling출력의 계산을 위해서 측정치가 컴퓨터로 보내진다. 측정 중에는 모터의 제어로써 두개의 평판은 최초의 Brewster각에서 시작해서 0.1°씩 회전한다.

신호 이득 g_0 를 서로 비교한 결과를 그림 7에 나타내었다. 476.4[nm]의 선은 극히 적은 광이득을 나타내었기 때문에 석영평판의 고정각도 54°에서는 측정되지 않았다. 대신에 이 선에 대한 output-coupling출력의 최대값을 찾기 위해서 54.4°의 고정각에서 측정하였다.

6. 측정결과

최대의 레이저출력 하에서 측정이 이루어져야 하므로 먼저 레이저튜브에 대한 레이저변수들의 최적화가 필요하다. 본 연구에 사용된 레이저튜브에 대해서 He 압력 $P = 17 \text{ mbar}$, 방전전류 $I = 260 \text{ [mA]}$ 그리고 Se 오븐온도 $T = 11.7 \text{ [mV]}$ (오븐내의 열전소자의 전압으로 표시)의 값으로 최적화하였다. 최적화된 값에 따라 필터를 통과하지 않은 헬륨을 충전하여 선택된 모든 선들에 대한 측정을 한 후, 헬륨을 제거하고 필터를 통과한 헬륨을 재충전하여 다시 측정을 하였다.

실험에 사용된 레이저튜브에는 길이 $l = 250 \text{ [mm]}$, 직경 $d = 1.5 \text{ [mm]}$ 의 소형의 모세관을 사용하였으므로 적외선영역의 선들과 가시광영역의 선들의 일부는 발견하지 않았다. 선들의 파장영역별로 최대출력을 나타내는 모두 4쌍의 공진기 거울을 사용하였다 (청 : $R = 0.8 \text{ m}$, 녹 : $R = 1.5 \text{ m}$, 황 : $R = 1.0 \text{ m}$, 적 : $R = 0.8 \text{ m}$). 이들은 측정되는 선들에 대해서는 높은 반사율을 나타내며 다른 선들은 통과시킨다. 회전평판의 각도에 따라 출력측정기에서 읽은 측정값 P_m' 으로부터 공진기출력 P_R , output-coupling출력 P_a 그리고 output-coupling을 α 를 계산하였다. 이 측정을 위하여 특별히 개발된 software를 사용하여 위의 계산들과 모터제어가 이루어졌다.

셀레늄증기레이저에서 각 선들의 최대 output-coupling출력 $P_{a,M}$ 은 필터를 사용한 경우($P_{a,M1}$)와 사용하지 않은 경우($P_{a,M2}$)에서 최소 0.3[mW], 최대 6 mW의 범위에서 발견하였다. 개개의 선들을 측정하여 $P_{a,M2}$ 에 대한 $P_{a,M1}$ 의 비율을 그림 6에 나타내었다. 또한 최대 output-coupling을 α_{max} 를 바탕으로 한 소

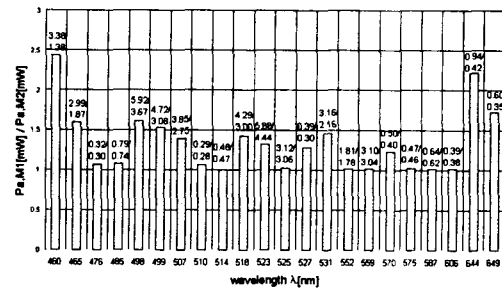


그림 6. 최대 output-coupling 출력 Pa,M의 비교
Fig. 6. Max. output-coupling Power Comparison

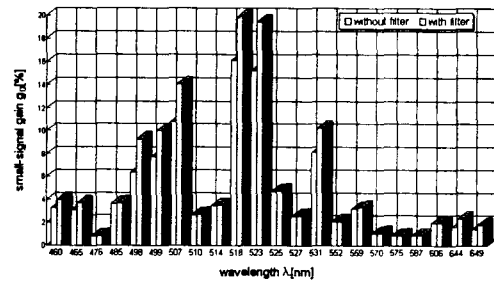


그림 7. 소신호이득 g_0 의 비교
Fig. 7. Small signal gain comparison

7. 결 론

대부분의 선들이 필터를 사용한 경우에 더 높은 output-coupling출력과 소신호 이득을 보여 주었다. 그림 6에서 알 수 있는 것처럼 청색과 적색선들에 대해서는 필터를 사용한 경우에 평균 2배 정도의 출력 증가를 나타내고 있다. 특히 강력한 선들(497.6 nm, 499.3 nm, 506.9 nm, 517.6 nm, 522.8 nm, 530.5 nm)도 거의 50 % 증가된 값이 측정되었다. 그림 7에서 보면 이들 강력한 선들은 강도가 약한 선들 보다 필터를 사용한 경우 소신호 이득의 증가가 현저하였고

평균 30 % 더 높게 나타났다. 소신호이득의 증가는 청색선에서 약 20 %, 적색선에서 약 30 %의 증가를 역시 나타내고 있다. 출력이 약한 선들은 외부로부터의 아주 작은 영향에도 민감할 뿐만 아니라 출력증감의 폭이 다양하므로, 이들에 대한 최대 output-coupling 출력과 소신호이득의 비교는 강력한 선들에 비하여 신뢰도가 떨어진다고 볼 수 있다.

결론적으로 말하면, 셀레늄증기레이저에서 강력한 선들과 청/적색선들의 소신호이득 및 레이저출력은 헬륨가스의 순도가 향상됨에 따라 증가한다고 할 수 있다. 위의 결과로부터 헬륨을 펄핑가스로 사용하는 다른 기체레이저의 경우에도 헬륨필터를 사용하여 순도를 높이면 레이저출력이 향상되어질 수 있음을 기대할 수 있다.

References

- [1] G. Roll and J. Mentel, "New laser lines in Se II discovered by gain measurements using amplified spontaneous emission", *J. Phys. D: Appl. Phys.* 22, pp. 483-487, 1989.
- [2] J. Mentel, "Viellinienlaser für die Messtechnik", *Labor* 2000, 206-216, 1989.
- [3] E. Schmidt, J. Mentel, K.-H. Krahn, "Three-color He-Se laser with optimized output power", *Appl. Optics*, 25, pp. 1383-1388, 1986.
- [4] F. Ortwein, J. Mentel, E. Schmidt, "A birefringent filter as a turning element for a multiline He-Se+ Laser", *J. Phys. D: Appl. Phys.* 22, pp. 488-491, 1989.
- [5] J. Mentel, E. Schmidt, T. Mavrudis, "Birefringent filter with arbitrary orientation of the optic axis: an analysis of improved accuracy", *Appl. Optics* 31, 5022-5029, 1992.
- [6] S. T. Choi, "A study on optical gain and output-coupling power of selenium vapour laser using isotope helium", *J. Opt. Society of Korea-Korean Edition*, pp. 114-118, Vol. 11, Nr. 2, April 2000.

◇ 저자소개 ◇

최 상 태 (崔相泰)

1957년 8월 8일생, 1984년 영남대학교 전기공학과 졸업(학사), 1992년 독일 보훔 루르대학교 전기공학부 졸업(Dipl. Ing.), 1997년 동 대학원 전기공학부 졸업(Dr. Ing.), 현재 경주대학교 컴퓨터전자공학부 조교수.