

두주파수내부공진기형He-Ne레이자의 주파수간격과 밀림특성

김 형 길

우리는 정밀측정용주파수안정화He-Ne레이자를 개발하는데서 중요한 문제로 나서는 He-Ne레이자의 주파수간격과 주파수밀림특성에 대하여 연구하였다.

선행연구[1]에서는 가열법을 리용하여 공진기길이가 $L=150\text{mm}$ 인 내부공진기형He-Ne레이자의 주파수안정화에 대한 연구를 진행하고 방식비약법에 의한 레이자주파수의 상대안정성이 2×10^{-10} , 주파수재생성은 1×10^{-9} 이라는것을 보여주었다. 선행연구[2]에서는 공기랭각법을 리용하여 공진기길이가 140mm 인 내부공진기형He-Ne레이자에서 주파수안정화장치의 주파수상대불확정도가 $u = 4.3 \times 10^{-9}$ 이고 평균두제곱편차는 6×10^{-11} 이라는것을 밝혔다. 그러나 주파수안정화의 원리와 설계방법들은 잘 알려져있지 않고있다.[3-5]

우리는 주파수안정화내부공진기형He-Ne레이자를 개발하는데서 기초로 되는 주파수간격과 주파수밀림특성에 대하여 연구하였다.

1. He-Ne레이자의 주파수간격측정

도플러증폭곡선안에 2개의 세로방식이 존재하는 모양은 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 주파수간격은 도플러증폭곡선안에서 린접한 두 세로방식사이의 주파수차 $\Delta\nu$ 를 의미한다.

공진기길이가 L 인 레이자에서 주파수차는 다음과 같다.

$$\Delta\nu = C/2L \quad (1)$$

여기서 C 는 빛의 속도이다.

주파수간격을 측정하기 위한 실험장치는 그림 2와 같다.

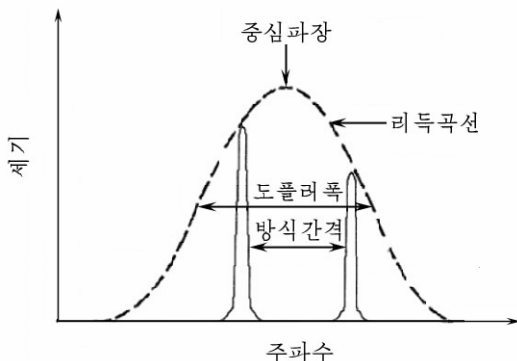


그림 1. 레이자의 도플러리득곡선

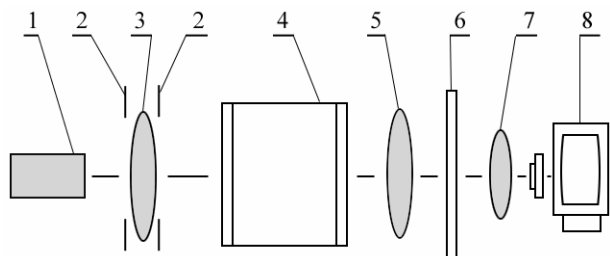


그림 2. 주파수간격측정장치의 구성도

1-레이자관, 2-조임, 3-확대렌즈, 4-F-P간섭계, 5-집광렌즈, 6-편광자, 7-대안미척, 8-컴퓨터

그림 2에서 레이저관은 공진기사이의 거리가 310mm인 내부공진기식레이자인데 동작 파장은 632.8nm이고 동작전류가 5mA일 때 레이저출력은 5mW이다.

F-P간섭계에서 나타난 고리무늬를 컴퓨터에 의해 얻은 영상은 그림 3과 같다.

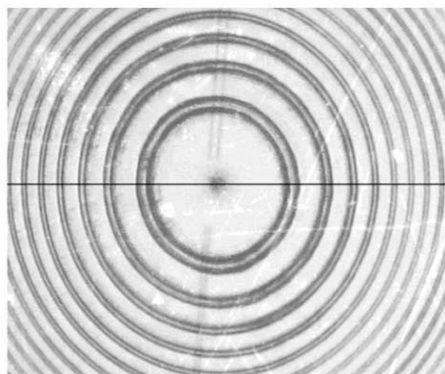


그림 3. 컴퓨터에 의한 주파수 간격사진

또한 고리무늬차수에 따르는 무늬직경을 측정하고 두 세로방식의 파장차 $\Delta\lambda$ 를 다음식으로 계산하였다.

$$\Delta\lambda = \lambda a - \lambda b = \frac{\lambda^2}{2h} \cdot \frac{D_{mb}^2 - D_{ma}^2}{D_{(m-1)a}^2 - D_{ma}^2} \quad (2)$$

여기서 첨수 a, b 는 첫째와 둘째 고리무늬를 의미하며 m 은 고리무늬의 차수, h 는 F-P간섭계의 길이, D 는 고리무늬의 직경, λ 는 빛의 중심파장이다.

측정결과 세로방식때 파장간격은 $\Delta\lambda = 9.2 \cdot 10^{-4} \text{ nm}$ 이며 이 값을 주파수간격으로 표시하면 $\Delta\nu = 700 \text{ MHz}$ 였다.

2. 세로방식때 주파수밀림과 편광변화특성

세로방식때의 편광특성을 연구하기 위한 실험장치는 그림 2에서 편광자 6을 설치한 상태와 같게 하였다.

편광특성을 연구하기 위한 실험장치에서 편광자의 회전각이 각각 $45^\circ, 0^\circ, 90^\circ$ 일 때 간섭고리무늬를 측정하면 그림 4와 같다.

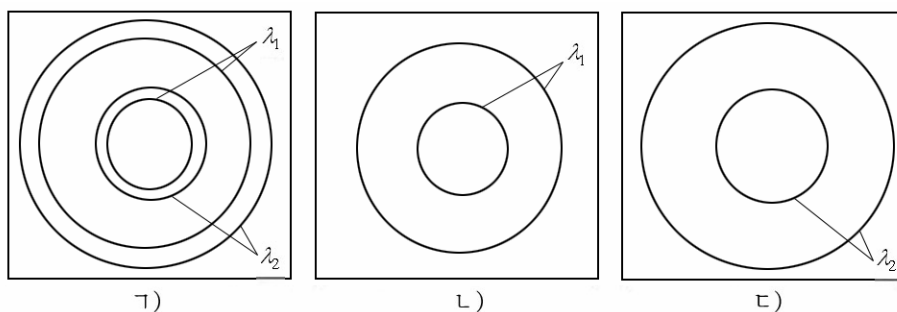


그림 4. 간섭고리무늬

ㄱ) - ㄷ)는 편광자의 회전각이 각각 $45^\circ, 0^\circ, 90^\circ$ 인 경우

그림 4의 ㄴ)와 ㄷ)에서 보는바와 같이 2개의 세로방식의 파장 λ_1, λ_2 는 각각 선편광되어있으며 그 편광방향은 서로 수직이다. 시간이 지남에 따라서 세로방식수는 2개로부터 1개로, 또는 1개로부터 2개로 끊임없이 변화되는데 그 주기는 방전초기에는 5~15s이지만 방전이 끝난 1h후에는 1min정도이다.

공진기길이가 증가할 때 주파수밀림에 의한 두 수직방식들의 복사출력과 복사출력차는 그림 5와 같다.

그림 5의 ㄴ)에서 보는바와 같이 공진기길이가 $\lambda/2$ 만큼씩 증가할 때 두 수직방식들

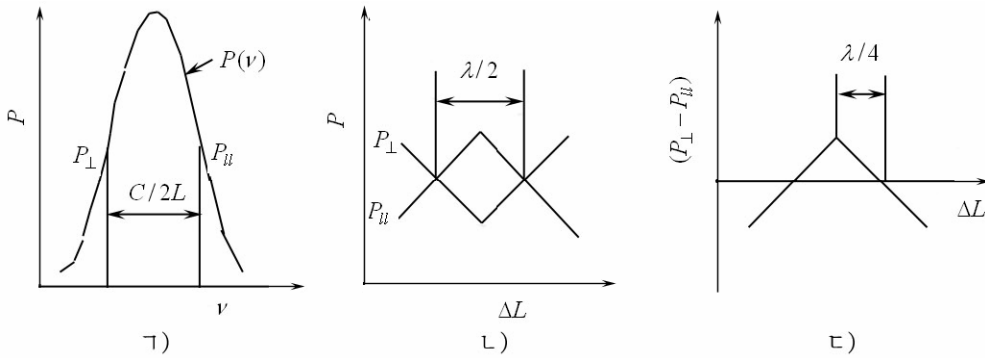


그림 5. 주파수밀림에 의한 방식세기들사이의 관계

ㄱ) 주파수에 따르는 수직편극성분들의 복사출력, ㄴ) 공진기길이변화에 따르는 수직편극성분들의 복사출력, ㄷ) 공진기길이변화에 따르는 수직편극성분들의 복사출력차

의 복사출력은 반대위상으로 변하며 동시에 편극방향도 반대로 변한다.

그림 5의 ㄷ)에서 보는바와 같이 두 방식때 복사출력차의 최소값은 2개의 세로방식이라득곡선안에서 대칭으로 분포될 때 0으로 되며 복사출력극대점과 0점사이의 간격은 $\lambda/4$ 공진기길이의 변화와 같다.

한편 주파수밀림은 환경온도변화에 의해 일어나는데 다음과 같이 표시된다.

$$d(\Delta\nu) = -\frac{C}{2nL^2}dL - \frac{C}{2n^2L}dn \quad (3)$$

또한 온도가 변할 때 방식비약수 N 은 다음과 같다.

$$N = (T_1 - T_0) / \Delta T_2 \quad (4)$$

여기서 T_0 은 레이자방전관의 처음온도, T_1 은 레이자방전관의 마감온도, ΔT_2 은 1개의 방식이 비약하는데 필요한 온도이다.

우리의 경우에 $T_0=51.5^\circ\text{C}$, $T_1=67^\circ\text{C}$, $N=21$, B-Si유리의 선팅창결수가 $\alpha=3\times 10^{-6}$ 임을 고려하면 1개의 방식이 비약하는데 필요한 온도변화 ΔT_2 는 다음과 같다.

$$\Delta T_2 = (T_1 - T_0) / N \approx 0.7^\circ\text{C} \quad (5)$$

이것은 1개의 방식을 안정시키는데 필요한 온도변화가 0.7°C 보다 작아야 한다는것을 말해준다. 그러므로 자유발진상태에서 주파수밀림에 의한 레이자의 최대주파수불안정도는 1.5×10^{-6} 이다.

맺 는 말

- 1) 두주파수내부공진기형He-Ne레이자의 주파수간격은 $\Delta\nu = 700\text{ MHz}$ 이다.
- 2) 2개의 세로방식빛은 각각 선편광되어있으며 그 편극방향은 호상 수직이다.
- 3) 방식비약때 두 수직방식들의 빛세기와 편극방향은 반대위상으로 변한다.
- 4) 레이자관의 온도가 0.7°C 씩 변할 때 1개의 세로방식이 비약하며 이때 주파수최대밀림에 의한 주파수상대불안정도는 1.5×10^{-6} 이다.

참 고 문 헌

- [1] X. Diao et al.; Applied Optics, 52, 3, 456, 2013.
- [2] J. Qian et al.; Applied Optics, 51, 25, 6084, 2012.
- [3] Z. Wein et al.; Optics & Laser Technology, 44, 63, 2012.
- [4] W. Mao et al.; Applied Optics, 45, 10, 7723, 2006.
- [5] G. Liu et al.; Optics & Laser Technology, 39, 593, 2007.

주체104(2015)년 7월 5일 원고접수

Frequency Interval and Shift Characteristics in a Two-Frequency Internal Cavity He-Ne Laser

Kim Hyong Gil

We described on the frequency interval and shift characteristics in a two-frequency internal cavity He-Ne laser which is widely used. The results show that two longitudinal modes with 700MHz frequency interval are perpendicular to each other in polarization direction and that frequency shifting causes mode jump, at each mode jump the polarization direction and intensity gain opposite phase state. In the free operation state the maximum frequency uncertainty of laser light by frequency shifting is 1.5×10^{-6} .

Key words: internal cavity He-Ne laser, frequency shift