

CCD 카메라를 이용한 Gd 용융면 온도 분포측정

Measurement of Temperature Profiles in melted-Gd Surface using CCD Camera

노시표, 유한영, 임창환, 정의창
 한국원자력연구소 양자광학기술개발팀
 sprho@kaeri.re.kr

물체표면의 정확한 온도를 알아내기 위해서는 그 물체로부터 방출되는 방사에너지를 측정해야한다. 용융면의 온도는 고온계(pyrometer)로 측정하는데, 대부분의 경우 일정 지점의 온도만을 알 수 있다. 그러나 용융면 온도 분포를 측정할 때에는 CCD 카메라를 사용한다. 우리는 전자빔을 이용하여 Gd(gadolinium)을 녹이고 Gd 증발표면의 온도를 Planck's 복사법칙을 이용하여 근사적으로 구하였다. 증발면으로부터 발생하는 광량은 ND(neutral-density)필터, BP(band-pass)필터를 지나 CCD 카메라로 들어오는데, 이 영상을 이미지프로세싱을 통해 분석하였다. 실험장치는 그림 1과 같이 구성하였다. 용융면에서 발생하는 Gd 원자증기에 의한 투시창의 코팅을 방지하기 위하여 챔버의 상부에 엘로우 프랜지를 설치하고 용융면의 상을 회전거울에 반사시켜 CCD 카메라로 입사시켰다. 사용한 전자빔의 가속전압은 20 kV 였고, 전류는 100 mA 이었다. 전자빔을 수냉식 도가니에 놓여있는 Gd 시료에 focusing과 scanning을 한 상태에서 용융된 물체로부터 광량의 세기를 각각 측정하였다.

단색 광 고온 측정법에서 목적물의 온도 T 는 알려진 온도 T_r 과의 분광학적 복사비율(Q)을 측정하여 식(1) 로 부터 계산할 수 있다.

$$Q = \frac{L_\lambda(T)}{L_\lambda(T_r)} = \frac{\int s(\lambda)\tau(\lambda)\epsilon(\lambda, T)P(\lambda, T)d\lambda}{\int s(\lambda)\tau(\lambda)\epsilon(\lambda, T_r)P(\lambda, T_r)d\lambda} \tag{1}$$

$s(\lambda)$: 감지기 광량의 민감도, $\tau(\lambda)$: BPF의 투과, $\epsilon(\lambda)$: 방사율, $P(\lambda, T)$: Planck's law의 파장의존 함수

식(2)은 Plank's 복사법칙으로부터 유도되어지며 가시영역에서 증발면 광량의 세기로부터 Wien's approximation 통해 실제온도를 계산할 수가 있다.

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_r} - \frac{\lambda}{c_2} \ln Q \tag{2}$$

식(2)에서 T_r 은 Gd 용융점(=1585 K), c_2 (=0.0143876 m.K)는 2차 복사상수, λ 는 투과필터의 중심 파장을 나타낸다.

사진 1은 출력 2 kW 전자빔을 focusing 한 상태에서 촬영한 Gd 용융면이다. 두 용융면의 상의 밝기의 차이는 f 값을 좌측에서는 8 로 하고, 우측에서는 22 로 하였기 때문이다. 이 때 neutral density filter 는 300을 사용하였다. 참고로 중심투과 파장이 700 nm 인 필터를 사용하였을 때, Gd 증발면의 추정온도는 식(2)를 이용하여 구할 때 최고점 온도가 2000K 이며, 이 값은 two-color pyrometer(MIKRON MODEL M90-R2) 로 측정된 최고점 온도에 비하여 100 K 높은 값이다.

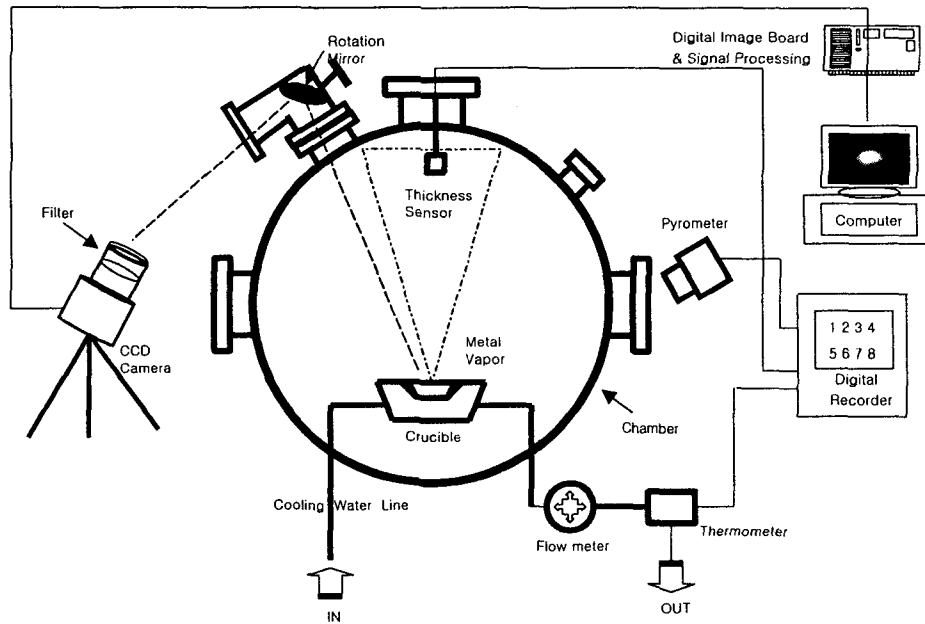


그림 1 용융면의 온도 분포측정을 위한 실험장치도



사진 1 전자빔 출력 2 kW에서 전자빔을 focusing 시켰을 때 f=8 (좌)의 사진), f=22 (우) 의 Gd 용융면의 사진)

[참고문헌]

1. H. Ohba, T. Shibata, Jpn. J. Appl. Phys. 34, 4253 (1995)