

# 레이저 용접시 유기 플룸에 관한 분광학적 연구

## Spectroscopic Studies of Plume Induced by Laser Welding

한국해양대학교 기관시스템공학부 김종도

한국해양대학교 재료공학과 김영식

부경대학교 생산가공공학과 조상명

### 1. 서론

레이저 빔 용접시에는 재료로부터 유기하는 플라즈마 또는 플룸이라 불리어지는 고휘도 발광체가 발생하고, 가공결과에 지대한 영향을 미친다고 알려져 있다. 또한 빔에너지가 극히 미소한 영역에 집중하므로 합금원소의 선택적 증발손실이 발생하고, 용접금속부의 조성이 변화하여 기계적 특성이 열화하는 가능성도 지적되고 있다.

그러므로, 종래부터 레이저 빔과 물질과의 상호작용에 관한 많은 연구가 이루어졌으나, 증발원소나 증발현상등에 대해서는 아직 불명한 점이 많다. 특히 증발하기 쉬운 원소를 함유하는 합금의 증발현상이나 유기 플라즈마의 거동은 충분히 이해되어 있지 아니하다.

따라서, 본 연구에서는, 현재 구조재료 및 기능재료로서 철에 버금가는 금속재료의 지위를 확립하고 있는 알루미늄합금을 이용하여, 유기 플라즈마의 분광학적 계측 및 해석에 의해 증발종(蒸發種) 및 화학반응종(化學反應種)을 동정(同定)하고 그들의 발광특성을 명확히 함으로써 합금원소의 증발거동 및 인 프로세스 모니터링의 기초지견을 얻고자 한다.

### 2. 사용재료 및 실험방법

#### 2.1 사용재료

두께 6 mm의 알루미늄 합금 A5083을 비롯한 수종의 합금에 대하여 유기 플라즈마의 발광 분광 분석을 행하였다. 본고에서는 A5083(4.6% Mg)에 대해서만 보고한다.

#### 2.2 실험장치 및 실험방법

본 연구에서 사용한 가공용 레이저 장치는 파형제어형 펄스 YAG레이저 (최대출력:90 J/p, 펄스폭:21 ms)이다. Fig. 1에 발광분광 분석시 이용한 광학계의 개략도를 나타낸다. 이 광학계에서는, 색수차(色收差) 및 비점수차(非点收差)를 보정할 수 있으며, Fig. 2에 색수차에 의한 초점거리의 변화에 대한 계측 예를 나타낸다. 분광기(회절격자: 2400 gr/mm)는 50 cm의 초점거리를 가진 체르니타나형을 사용하고 사진측광과 광전측광이 가능하며 0.02 nm의 분해능을 얻을 수 있다. 레이저는 0.6 mm의 GI fiber로 전송하고, 초점거리 150 mm의 렌즈로 재료상부에 집광시켜 조사(照射)했다.

### 2.3 스펙트럼 동정법

Hg램프, Cd램프, 순철의 아크, 그리고 증공음극램프(HCL:원소,Al)의 4개 광원을 이용하여 원소Fe의 증공음극램프의 파장을 결정하고, 기준선으로써 사용했다. Fig. 3에 기준선으로 이용한 분광사진의 한 예를 나타낸다. 사진건판상에 구해진 기준선과 플라즈마의 발광 스펙트로라인을 나란히 계측하고, 파장표를 이용하여 직선내삽법으로 증발종을 동정했다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 중성원자 스펙트로 라인

대기중 A5083의 유기플라즈마에 있어서 중성원자로서 Al, Mg, Cr, Mn, Cu, Fe등이 동정되었다. Fig. 4에서 동정된 중성원자에 대한 분광사진의 한 예를 나타내고, Fig. 5에 Al의 자기흡수선(396.153 nm)의 파장에 따른 강도변화를 나타낸다. 이와 같은 자기흡수(自己吸收)현상은 AlI와 MgI의 공명선(영존선)에서 흔히 발생하고 있다. 이러한 결과로부터 레이저 유기 플라즈마는 온도가 비점(沸點)부근이며, Al과 Mg의 중성원자가 다량으로 증발되어 있음을 알 수 있다

### 3.2 이온 스펙트로 라인

1가의 이온 스펙트로 라인으로서 280.270 nm와 279.553 nm의 Mg가 동정되었다. 이것은 레이저유기플라즈마가 저온(低溫)의 약전리(弱電離)플라즈마임을 나타내고 있다. 이러한 동정된 이온선은 플라즈마의 물성계측에 유효하게 이용될수 있는 발광선이기도 하다.

### 3.3 분자 스펙트라

화학반응종인 2원자 분자선으로서 AlO, MgO 및 AlH가 동정되었다. 본 연구에서는 분자선의 진동 및 회전구조를 해석함에 따라 지금까지 보고되지 아니한 439.40 nmR와 455.83 nmR등 다수의 AlO분자선도 동정되었다. 이들 분자선 강도에 대한 공간분포의 계측결과 재료표면으로부터 증발된 중성원자는 대기중으로 전파도중 화학반응에 의해 생성되고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 6에 AlO와 MgO분자선의 파장에 따른 발광강도의 정성적분포를 나타내고, Fig. 7에 관련하는 분자의 진동(振動)상태간 천이(遷移)시의 모식적 potential energy diagram을 나타낸다. MgO의 분자선은 Fig. 7의 (a)에, AlO의 분자선은 (b)에 대응하고 있다. 즉, 각 분자들의 여기(勵基)상태에서 기저(基底)상태로 천이시의 물성에 따라 MgO의 밴드헤드(band head)은 단파장측으로, AlO는 장파장측으로 감쇄하고 있음을 알 수 있다.

다시말하면, 이와 같은 2원자 분자선에서는 각각의 분자의 진동구조와 그 진동구조내의 회전구조에 의한 band head가 거의 등간격으로 이루어져 있으며, 각각의 밴드의 상대(相對)강도는 각 분자의 내부에너지를 반영하고 있으므로 증발증기의 물성계측시 유용한 정보를 줄것으로 사려된다.

Fig. 8에 Ar의 불활성가스 분위기 중에서, AlH분자선의 재료표면상태 및 분위기 가스의 변화에 따른 발광강도의 변화를 나타내고 있다.

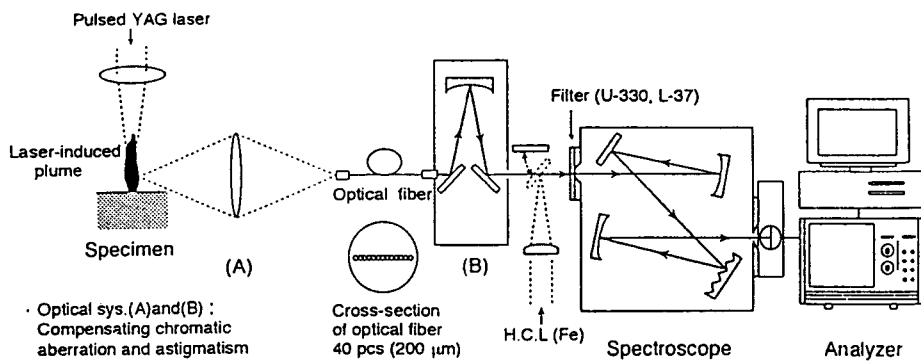


Fig. 1 Schematic optical arrangement for spectroscopic measurement.

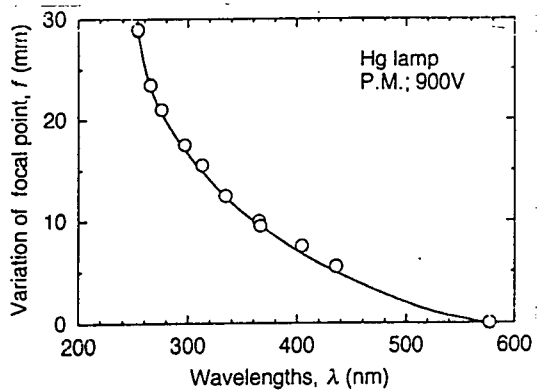


Fig. 2 Variation of focal point by chromatic aberration in optical system.

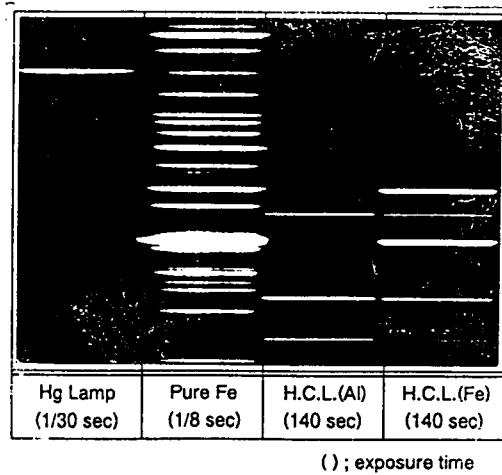


Fig. 3 Reference lines used in this study.

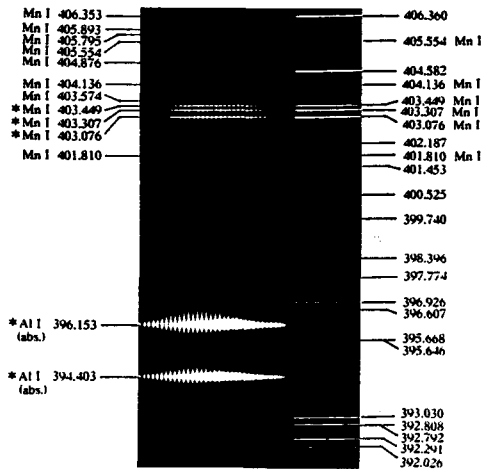


Fig. 4 Atomic spectra of plasma induced from A5083 by pulsed YAG laser irradiation ( $E_0=80$ J/p;  $\tau_p=21$ ms) in air and reference lines of HCL(Fe).

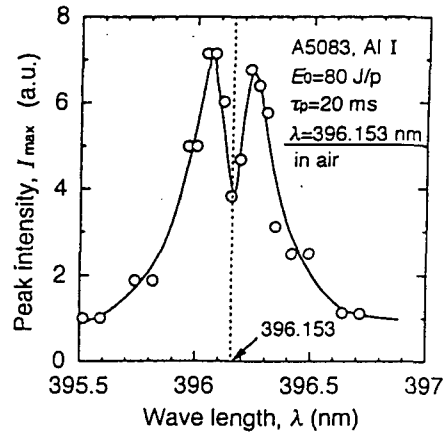


Fig. 5 Intensity profile of self absorption lines in laser-induced plasma from A5083 in air.

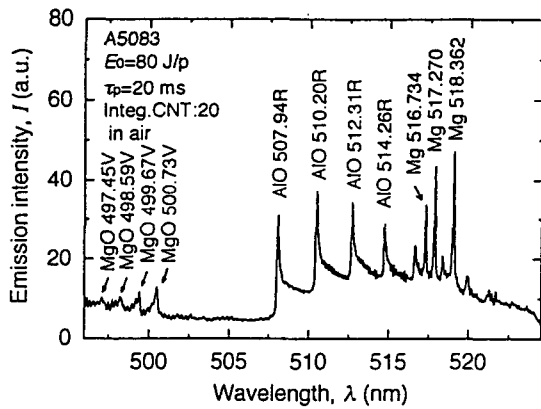


Fig. 6 Spectral lines of laser-induced plasma in air near 510 nm, showing formation of MgO and AlO molecules and Mg atoms.

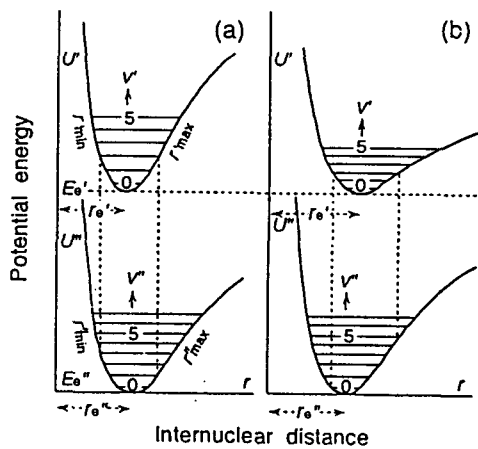


Fig. 7 Schematic potential energy diagram for different vibrational transitions.

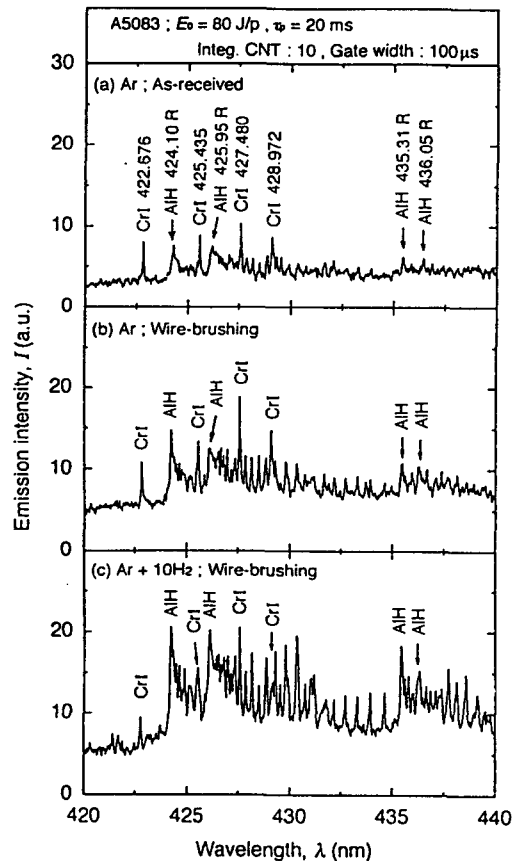


Fig. 8 Effect of surface condition and ambient gas on intensity of AlH molecular spectra from laser-irradiated A5083.