

마이크로파 방전으로 여기 된 고출력 광원 플라즈마의 특성 고찰

김진중^{*,**}, 고정태*, 원동호*, 김정영*, 홍성호^{**}, 김정원^{**}, 김경신^{**}
^{*}세종대학교 광공학과, ^{**}태원전기산업(주) 부설연구소

A Study on Excited Plasma Lamp of High Power by Microwave Discharge

Jin Joong Kim^{*,**}, Jung Tae Ko*, Dong Ho Won*, Jung Young Kim*
 Sung Ho Hong^{**}, Jeong Won Kim^{**}, Kyoung Shin Kim^{**}

^{*}Department of Optical Engineering, Sejong University, ^{**}Taewon Lighting Company R&D Laboratory

Abstract - 마이크로파 방전을 이용한 고효율 고출력 광원으로 연구 개발 되고 있는 2-분자 발광체의 고압 증기 플라즈마는 그 특성이 충분히 이해되지 않고 있다.

본 논문은 특유한 물리적 성질을 보이는 2-원자 황 분자 증기 플라즈마의 물리적 성질과 광학적 특성에 관하여 총체적인 고찰을 할 것이다. 특히 고압 발광 플라즈마의 마이크로파 흡수 메카니즘, 플라즈마 전도율, 및 발광 특성에 관하여 논의 할 것이다.

1. 서 론

가스나 금속 증기를 전극 없이 초고주파를 이용한 방전은 여러 가지 광원의 궁극적인 기술의 하나로 인식되어 지금 까지도 연구 개발되고 있다[1]. 본 연구팀도 산업자원부의 지원으로 국내 기술의 독자적 개발을 위하여 초고주파 방전에 의한 2-분자 증기 발광원 플라즈마의 특성을 연구하고 있다. 본 논문에서는 이러한 초고주파를 이용한 고압 광원 플라즈마의 특성에 관한 최근 결과를 설명한다. 특히 원편파를 사용한 정지된 램프에서의 전자파 회전 방전과, 황 증기와 InBr의 고압 발광 특성 및 차이점, 플라즈마 부양 현상인 plasmoid, inversion technique를 통한 대기압 방전 플라즈마의 전도율 측정을 보고한다.

2. 본 론

2.1 원편파를 이용한 무전극 방전 램프

기존의 무전극 방전 램프는 그림 1과 같이 TE₁₁ 모드의 선편파를 사용하므로 램프 양쪽으로 전장이 집중되어 국부적인 가열에 의한 램프 파손이 일어났다. 따라서 기존 방식은 motor를 사용하여 램프를 회전시켜 파손을 방지한다. 하지만 motor의 사용은 공간 활용의 문제와 시스템 구조 제작에 한계를 준다. 뿐만 아니라 움직이는 부품의 사용은 장기적인 구동에 한계를 주며, 보수 유지 비용이 증가한다. 램프와 motor의 결합 또한 시스템 활용에 제약을 준다. 그림 2에서 보듯이 시간 적분된 전장이 한 곳에 집중되지 않고 원형 대칭을 이루고 있음을 볼 수 있다. 따라서 국부적 가열에 의한 램프 파손을 방지하며, 램프 회전에 의한 문제점들을 해결할 수 있는 시스템 구성을 가능하게 한다.

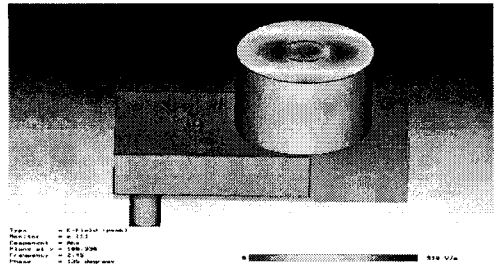


그림 1. TE₁₁ mode microwaves in a circular cavity.

이를 원칙적으로 해결하기 위해 원편파를 사용하였으며, 그림 2는 주파수 2,45 GHz 원편파를 시간 적분으로 전장을 보여주는 그림이다.

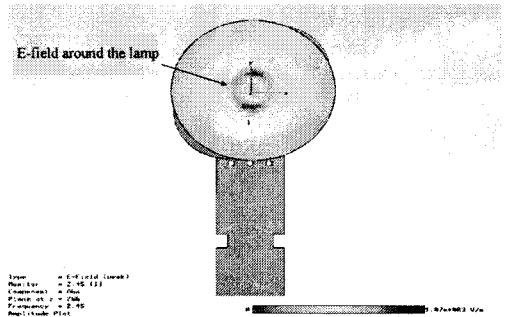


그림 2. Time-integrated circularly polarized microwaves of TE₁₁ mode.

원편파 황 방전시 그림 3과 같이 plasmoid가 일어나면서, 활성 영역(active zone)이 회전하듯 움직이는 현상이 일어난다. 그림 4에서 보듯 부양된 plasmoid의 꼬리 같은 부분이 회전하는 현상을 직접 관찰할 수 있으며, 방전조건이 맞지 않으면 불안정한 striation이 관찰된다. 플라즈마 전자의 충돌에 의한 에너지 전달은 충돌 주파수와 직접 관련됨으로 이 현상은 방전 플라즈마 연구에 중요한 단서를 제공할 것이다.

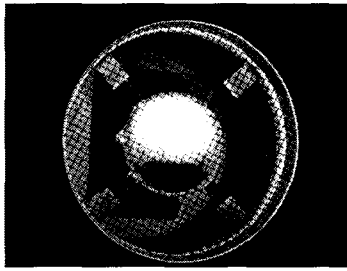


그림 3. 황 플라즈마의 부양 현상.



그림 4. 원편파에 의한 플라즈마 회전현상. 상반의 플라즈마에서는 부력에 의하여 부양되어 있기 때문에 회전되는 방전이 보이지 않음.

2.2 광학적 특성

원편파에 사용된 램프는 직경 3.6 cm 에 순도 99.99 %의 황, 99.999 % InBr를 각각 사용하였다. 램프의 buffer gas는 99.999 %의 Ar을 사용하였다.

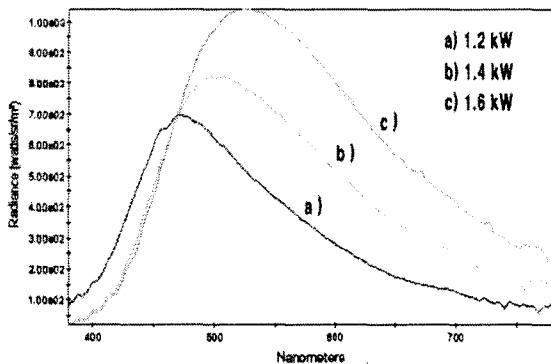


그림 5. 입력에 따른 황 스펙트럼 변화

그림 5는 microwave 입력에 따른 스펙트럼이며, colorimeter (Photo Research PR650)로 측정하였다. 입력이 증가됨에 따라 스펙트럼이 적색이동 (red-shift)되는 것을 관찰 되었으며, 이는 2-원자 분자인 황 증기의 에너지 준위 특성에 따른 것으로, 입력의 크기에 따라 에너지 준위 간의 level에 따른 전위 분자의 수가 변하기 때문에 일어나는 것이다. 하지만 InBr의 경우 그림 6과 같이 입력에 따른 스펙트럼의 이동이 생기지 않고 출력만 증가함을 보인다. microwave 입력은 0.2 ~ 2.0 kW까지 0.2 kW씩 증가시키며 측정 한 것이다. 이는 황과 확연한 차이를 보이 있다. 현재까지 InBr의 에너지 level이 잘 알려져 있지 않기 때문에 스펙트럼을 이해하려면 더 많은 연구가 필요하다.

황의 경우 연색지수가 79 ~ 81로 측정되었으며, 상관 색온도는 5000 ~ 11042 K으로 나타났다.

InBr은 연색지수가 90이상을 유지하였으며, 최고 98 까지 측정되어백색광에 가장 가까운 것으로 측정되었으며, 상관색온도를 보아도 5800 ~ 6280 K으로 나타났다.

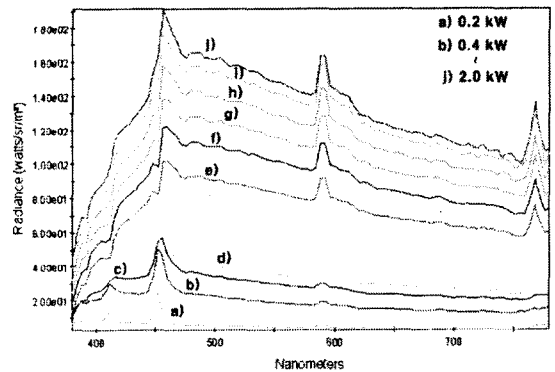


그림 6. 입력에 따른 InBr 스펙트럼. 입력이 높아질수록 출력의 증가만 보이고, 스펙트럼 이동은 나타나지 않음.

그림 7은 황의 microwave 입력에 따른 휘도를 측정 한 것이다. 입력에 비례적으로 휘도가 증가함을 보이고 있다.

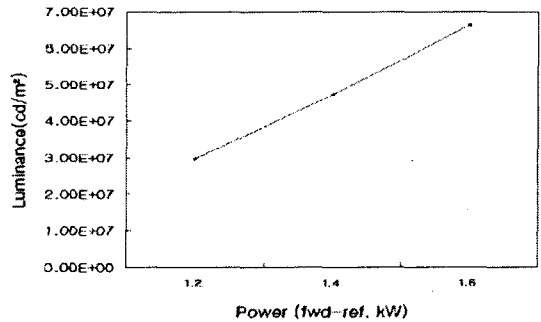


그림 7. 황 램프의 microwave input power에 대한 휘도변화.

2.3 플라즈마 방전의 도전을 측정

기압이 1 내지 4 기압인 방전 램프의 도전을 광원 시스템의 최적화를 위하여 절대적으로 필요하다. 방전시 고온 고압의 상태에서는 도전을 측정이 매우 어렵다. 본 연구팀은 inversion technique, 즉 microwave simulator와 실험을 접목시켜 발광 플라즈마의 등가 도전을 측정하였다. 특정 램프의 일정 입력 일 때 최소 반사 값을 측정하고 램프의 위치를 기록한다. 그리고 simulator를 이용하여 같은 조건을 만든 다음 도전을 찾았다.

그림 8은 도전을 측정 장치이며, 이때 실제 방전 램프의 크기, 물질의 양, 위치 등 여러 가지 조건을 확인해야 한다.

3. 결 론

본 연구팀은 원편파를 이용한 정지된 램프에서 회전하는 플라즈마를 이용한 방전을 성취하였다. 또한 고압 방전의 회전 사진을 제시하였다. 황 증기와 InBr의 상이한 발광 스펙트럼의 경향을 관찰하였다. 또한 고압 2-분자 플라즈마의 도전율을 최초로 측정하였다. 본 연구의 결과는 앞으로 초고주파 방전 램프의 최적화 조건을 도출하는데 중요한 도움을 줄 것이다.

본 연구를 위한 산업자원부, 정보통신부 "IMT-2000/전통산업의 IT접목기술개발사업"의 지원에 감사드립니다.

[참고문헌]

- [1] Wharmby, D. O.: "Electrodeless lamps for lighting : a review." IEE Proceedings 140A, pp. 465-473. 1993.
- [2] Tuner, B. P., Ury, M. G. and McLennan, D. A.: "Microwave Excited sulfur lamp." Paper QA2.47th Annual Gaseous Electronics Conference (Gaithersburg, MD, USA). 1994.
- [3] Johnston, C W, et al. "A self-consistent LTE model of a microwave-driven high pressure sulfur lamp." J. Phys. D: Appl Phys. 35 (2002) 342.

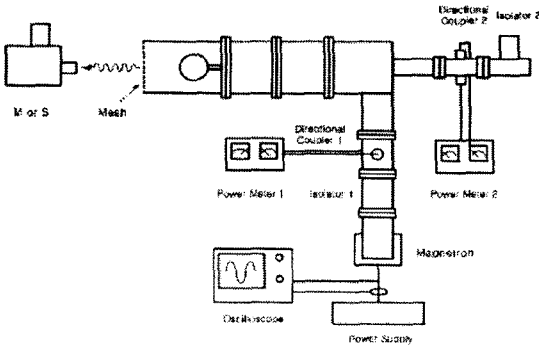


그림 8. 도전율 측정 실험 장치.

특정 InBr 램프의 플라즈마 도전율 측정 결과를 그림 9에서 보인다. 이 램프의 내용물은 InBr 10 mg, Ar 10 torr이다.

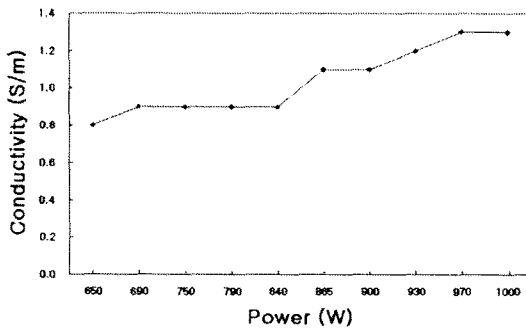


그림 9. InBr의 입력에 대한 도전율

같은 방법으로 수 개의 다른 램프를 사용하여 방전 플라즈마의 도전율을 측정하였다. 초기적인 데이터를 표 1에 보인다. Eindhoven group이 이론적 모사에 의하여 계산한 값과 같은 크기 영역에 있음을 관찰할 수 있다.

표 1. 측정된 고압 플라즈마 도전율

lamp 종류	내용물	입력 (W)	반사 (W)	반사 계수	도전율 (S/m)
Lamp 1	InBr 수 mg +Ar 수 torr	1000	240	0.49	9.8
Lamp 2	InBr 수 mg +Ar 수 torr	1000	120	0.346	4.6
Lamp 3	InBr 수 mg +Ar 수 torr	1000	760	0.46	8.2
Lamp 4	InBr 수 mg +Ar 수 torr	1000	100	0.316	3.9
Lamp 5	S ₂ 수 mg +At 수 torr	1000	210	0.456	8.1

표 1은 InBr의 램프 4개와 황 램프 1개를 입력 기준 대비 반사를 측정하여 반사계수를 계산하여 산출된 도전율이다.