

대기압 제트 플라즈마에서 다중 스트리머 발생 및 이해

박상후¹, 문세연², 최원호¹

¹한국과학기술원 물리학과, ²전북대학교 고온플라즈마응용연구센터

대기압 제트 플라즈마는 의료산업 및 재료공정, 정수, 기체흐름 제어 등 다양한 분야에 적용을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 뿐만 아니라 구동 조건에 따라 다양한 방전 모드가 존재하며, 이에 따라 발생된 플라즈마의 광학적 및 전기적 특성도 매우 다르게 나타나기 때문에 과학적으로도 새로운 현상들이 속속 발표되고 있다. 대기압 제트 플라즈마에서 중요한 과학적 현상 중 하나인 스트리머(streamer) 혹은 플라즈마 총알(plasma bullet)은 수-수십 kHz의 저주파 전압으로 구동 시 특정 조건에서 발생하는 현상으로, 최근 들어 시간분해능이 높은 ICCD 카메라를 이용하여 스트리머의 발생 및 전파에 대한 새로운 현상의 발견과 다양한 물리적 이해가 시도되고 있다. 본 연구에서는 헬륨 대기압 제트 플라즈마에 포함된 질소 함유량에 따른 다중 스트리머의 발생 및 기작의 이해를 시도하였다. 구동 전압 및 주파수, 헬륨기체의 유량, 전극 구조 및 간격 등 모든 조건이 동일한 상태에서 질소기체의 함유량을 증가시킬수록 특정 영역에서 스트리머의 개수가 증가하는 것을 관찰되었다. 또한 N_2^+ 의 방출광 세기가 헬륨 및 산소 원자의 방출광보다 지배적인 것으로 측정되었으며, 이는 헬륨 플라즈마에서 흔히 나타나는 헬륨 metastable에 의한 질소분자의 페닝 이온화(Penning ionization) 때문이다. 본 연구팀은 페닝 이온화($He^*+N_2 \rightarrow He+N_2^++e$)로 인해 추가적으로 발생하는 전자가 다중 스트리머 발생에 중요한 역할을 하는 것이라 제안한다. 좀 더 심화적인 분석을 하고자 헬륨-질소 플라즈마에서 주된 여러 가지 반응식을 이용하여 페닝 이온화에 의한 이온화율 및 전자의 직접적인 충돌에 의한 질소, 헬륨의 이온화율의 계산을 수행하여 특정 영역에서 헬륨의 이온화율보다 질소 페닝 이온화율이 더 커지는 것을 확인하였다.

Keywords: 대기압 제트 플라즈마, Multiple streamer, Penning ionization, Nitrogen impurity