

탄소나노튜브 전자총을 이용한 진행파관 증폭기 (TWT) 설계

김해진¹, 최진주¹, 한재희², 박재홍², 유지범²

¹광운대학교 전자공학과, ²성균관대학교 신소재공학과

진행파관 증폭기 (TWT)는 장거리 무선통신이나 인공위성 통신 및 초고속 데이터 전송을 위한 민수용 응용뿐만 아니라 군사적 응용에까지 다양한 분야에 널리 이용되고 있다. 진행파관 증폭기에 사용되는 전자총은 열전자 방출형 전자총을 사용하고 있는데, 전계방출형 전자총으로 대체하려는 연구가 세계적으로 널리 진행되고 있다. 이는 전자빔의 순간적인 turn-on이 가능하고 고온 가열이 불필요하며, 전자빔의 density modulation에 의한 interaction gain을 높임과 동시에 bunching section을 제거할 수 있어 초소형 고출력 진공 microwave 증폭기의 개발을 가능하게 한다. 탄소나노튜브는 잔류가스 및 다른 물질에 의한 오염에도 강한 화학적 안정성을 보이고, 기계적 성질 및 전기 도전성이 뛰어나 전계방출 물질로 각광을 받으면서 탄소나노튜브를 진행파관의 전자방출 cathode로 사용하려는 연구가 현재 세계적으로 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 화학기상증착법과 탄소나노튜브 페이스트의 공정 최적화 및 후처리 공정을 통한 고전계방출 전류밀도와 전계방출 안정성 및 신뢰성을 가지는 탄소나노튜브 전계방출원을 제작, 실험하였다. 최적의 전계방출을 얻기 위해서, 기판 (Ta)과 완충층 (TiN), 촉매금속 (Invar426)을 결정하였다. 최적화된 CNT paste를 이용하여 X-band TWT 캐소드용 탄소나노튜브 에미터를 제작하였다. 직경 4.36 mm의 gridded CNT 전자총에서 전계에 의해 방출되는 전류는 캐소드-애노드 사이의 전계가 5V/μm일때 11 mA (73 mA/cm²)이었다. 그리드 메시의 optical 전송률이 72%일때 cathode 전압이 -4 kV이고, cathode와 grid 사이의 전압이 1.38 kV (6.9 V/μm) 인가하였을때 cathode와 anode 전류는 각각 2.8 과 1.8 mA이었고, 전류 전송비율은 64%가 되었다. 또한 gridded CNT 전자총에서 방출되는 캐소드 전류와 그리드를 통과하는 애노드 전류를 MAGIC2D 코드를 이용하여 전류전송비율이 64.2%가 됨을 확인하였다. 3차원 전자파 해석틀인 HFSS를 이용하여 최적화된 저속파 구조를 설계하였으며 주파수에 따른 분산관계와 상호작용임피던스를 구하였고 1-D LMSuite 시뮬레이션을 수행하여 TWT에서 rf 입력신호와 상호작용회로의 길이에 따른 TWT의 증폭현상을 예측하였다. 시뮬레이션을 통해서 저속파 구조로 지나가는 전자빔의 전류가 5 mA 또는 2 mA로 매우 낮을지라도 전자빔 전압과 저속파 구조의 길이를 최적화하면 X-대역 TWT에서 10 dB 이상의 이득이 발생하며 RF 신호가 증폭되어 나옴을 예측할 수 있었다.