

두꺼운 접지 전극을 이용한 진행파형 광 검출기의 속도 부정합 향상에 관한 연구

Improved velocity mismatch in traveling-wave coplanar waveguide photodetector with thick ground electrode

윤상준, 옥성해, 윤영설, 공순철, 최영완
중앙대학교 광전자 및 광통신 연구실
polly@wm.cau.ac.kr

진행파형 광 검출기는 광 검출기의 필수 조건인 넓은 대역폭과 고출력을 낼 수 있는 소자로서 집적화가 쉽고 Microwave-Photonics 시스템에 매우 적합한 소자이기에 근래에 활발한 연구가 진행되어지고 있다. 진행파형 광 검출기는 광파와 마이크로파의 속도 정합과 소자와 외부 회로사이의 임피던스 정합 그리고, 진성영역에서의 전송자의 천이 시간 등이 대역폭을 결정하는데 큰 영향을 미치게 된다^[1]. 본 논문에서는 이러한 속도와 임피던스 부정합의 개선을 통해 대역폭을 향상시키기 위한 방법으로 릿지(ridge) 형태의 coplanar 도파로의 접지전극을 릿지의 윗 부분의 신호전극의 높이만큼 증가시켜 이를 통해 진성 영역에 집중되는 마이크로파의 전계를 릿지와 접지 전극사이로 분산시켜 마이크로파의 속도 향상을 이루며 임피던스 정합을 이룰 수 있는 새로운 구조를 소개한다.

그림 1은 두꺼운 접지 전극 구조를 가지는 CPW 형태의 진행파형 광 검출기의 단면을 보인다. 기존의 릿지 형태의 광 검출기에서는 마이크로스트립 라인과 같이 릿지의 진성 영역에 거의 모든 전계가 수직으로 집중되어 진성 영역을 광파와 함께 진행하는 마이크로파의 유효 굴절률을 높여 마이크로파의 진행 속도를 늦춘다. 하지만 두꺼운 접지전극의 구조를 가지는 진행파형 광 검출기의 경우 신호전극과 접지전극의 직선 거리를 최소화 시켜 두 전극 사이에서의 공기 중으로 진행되는 전계의 크기를 크게 해주고 이를 통해 진성 영역에 집중되는 전계의 크기를 줄여 마이크로파의 유효 굴절률을 낮추어 진행 속도를 향상시킬 수 있게 된다. 또한 이때 발생하는 캐패시턴스는 전극 자체가 전송 선로가 되어 소자 전체에 분포하므로 대역폭에 큰 영향을 미치지 못하게 된다. 이 구조를 해석하기 위한 방법으로 FDTD(Finite-Difference Time Domain) 알고리즘을 사용하였으며 이를 통해 시간 영역에서의 마이크로파의 전자계 분포를 구하고, 푸리에 변환을 통하여 주파수 영역에서 해석하였다^[2]. 이 구조에서의 도파관 해석을 통해 구한 광파의 유효 굴절률은 3.4 이며^[3] 마이크로파와 광파의 유효 굴절률이 같게 된다면 우리는 속도 정합을 이룰 수 있다. 그림 2는 두꺼운 접지전극 구조의 진행파형 광 검출기에서 진성 영역을 통해 Y 축으로(화살표 방향) 진행하는 Gaussian 펄스의 전계 분포를 나타내며 위에서 보인 이론에 의해 진성 영역에 집중되는 전계가 접지전극으로 분산되어 진행하는 모습을 보여준다. 그림 3은 두꺼운 접지전극 구조의 진행파형 광 검출기에서 마이크로파 유효 굴절률의 변화를 나타낸 결과이다. 신호전극의 높이를 0.5 μm 에서 1 μm 까지 증가시키고 이에 따라 접지전극의 높이도 릿지의 높이 만큼 증가시켰을 때 50 GHz 에서 유효 굴절률이 4.03 에서 3.88 까지 감소함을 볼 수 있다. 이는 앞에서 밝혔듯이 신호전극의 높이를 증가할수록 신호전극과 접지 전극 사이의 공기를 통해 진행되는 마이크로파의 전계의

크기가 커지게 되어 진성 영역에서 수직으로 존재하는 마이크로파의 전계는 줄어들고 유효 굴절률도 감소하게 되며, 이를 통해 마이크로파의 속도 향상을 얻게 된다. 그림 4는 두꺼운 접지 전극 구조의 진행파형 광 검출기의 임피던스 변화를 나타낸 결과이다. 그림 3과 그림 4를 함께 고려해 볼 때 접지전극의 높이를 신호전극 높이까지 증가시키면 마이크로파의 유효 굴절률을 줄일 수 있으며 특성 임피던스의 변화는 거의 없음을 알 수 있다. 일반적인 릿지 구조에서는 진성영역의 폭과 두께가 마이크로파의 유효 굴절률과 특성 임피던스에 큰 영향을 끼친다. 폭이 작아질수록, 두께가 두꺼워 질수록 마이크로파의 유효 굴절률은 작아지고 특성 임피던스는 커진다. 이 구조에서는 진성영역의 폭과 두께가 결정된 상태에서 임피던스의 변화를 주지 않고 마이크로파의 속도를 향상시킬 수 있다.

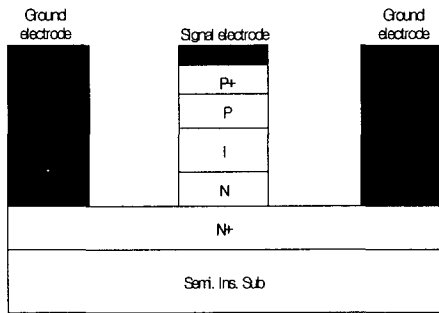


그림 1. 두꺼운 접지전극 구조의 진행파형 광 검출기

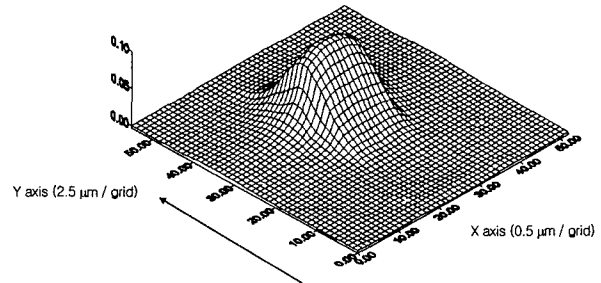


그림 2. 진성영역에서 진행되는 마이크로파 (진성영역의 폭 : X 축 격자 20~32)

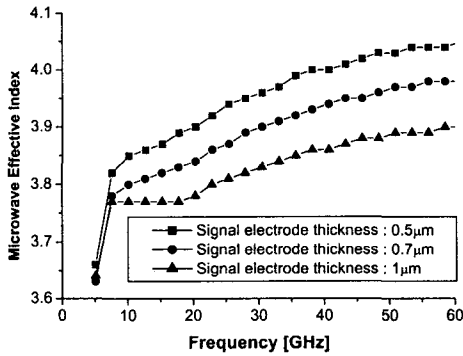


그림 3. 신호전극과 접지전극의 두께변화에 따른 마이크로파 유효 굴절률의 변화

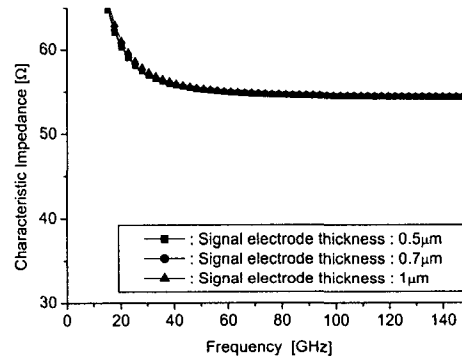


그림 4. 신호전극의 두께 변화에 따른 특성 임피던스의 변화

참고문헌

[1] K. S. Giboney et al., "Traveling-wave Photodetector Theory," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 45, pp.1310-1319, 1997.
 [2] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equation in isotropic media", *IEEE Trans. Antennas propagat.*, vol.AP-14, 302-307, 1966.
 [3] C. R. Pollock, "Fundamentals of optoelectronics", *Richard D. Irwin, INC.*, pp.229-235