

밀리미터파-Photonic 시스템을 위한 InGaAsP/InP VMDP 설계

Design of InGaAsP/InP VMDP for mm Wave-Photonics System

오재필, 이상선, 안성빈
한양대학교 전자전기공학부
jfoby@hymail.hanyang.ac.kr

최근 광통신 분야의 발전을 바탕으로 경제적이고 간편한 밀리미터파의 발생, 변조 및 검파를 위한 밀리미터파-Photonics 기술연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 밀리미터파-Photonics 시스템을 구현하기 위해서 필요한 중심 부품중에 하나가 고출력, 광대역 광 검출기이다. 이러한 요구조건을 만족시키는 광 검출기로서 VMDP(Velocity Matched Distributed Photodetector)는 기존의 광 검출기 구조에 비해 월등한 성능을 나타내고 있다. 기존에 AlGaAs/GaAs를 이용해서 0.86 μm 에서 작동하는 VMDP가 제시되었으나 이 형태는 현 광통신 시스템에 적용하기에는 부적당한 파장대역이다. 이에 본 연구에서는 InGaAsP/InP를 기반으로 1.55 μm 에서 작동하는 VMDP를 설계하고자 한다.

VMDP의 구조가 그림 1에 나타나있다. VMDP는 크게 광 도파로, 전송선(Transmission line), 광 다이오드 이렇게 세 부분으로 구성된다. 1.55 μm 대역의 동작특성을 갖는 광 검출기를 설계하기 위해서 InP 기판 위에 InGaAsP를 이용하여 광 도파로를 제작한다. 그 위에 전극선을 입혀서 전송선을 만들게 되며 그 형태는 CPS(Coplanar strip)의 형태⁽¹⁾를 갖는다. 광 다이오드는 광 신호가 흡수되는 부분으로, 광 도파로 위에 주기적으로 위치하게 되며 전송선과 연결된다. 광파는 그림 1의 화살표 방향과 같이 광 도파로의 입사 면으로 입력되어 진행하게 된다. 진행하는 광파는 주기적으로 배열된 광 다이오드를 통해서 전류 신호로 바뀌게 되며 각각의 광 다이오드에서 생성된 전류신호는 속도와 임피던스가 정합되어 있는 전송선을 따라서 진행을 하여 출력 단에 나타나게 된다. VMDP의 설계에 있어서 중요한 부분 중 하나가 광파와 전송선을 타고 진행하는 밀리미터파의 속도정합이다. 속도가 정합 되지 않을 경우 각각의 광 다이오드에서 발생된 전류신호는 전송선을 따라 진행하며 서로 다른 위상을 가지고 더해지기 때문에 출력특성이 저하된다.

InGaAsP/InP를 기반으로 제작된 VMDP의 성능을 평가하기 위하여 광 검출기로부터 얻어지는 전류의 주파수 특성을 보고자한다. VMDP를 그림2의 등가회로로 고쳐 전이 행렬방법(Transmission matrix method)⁽²⁾을 이용하여 해석한다. 그림 2에서 Z_0 는 입력단과 출력단에 연결되는 임피던스이고 R_s , C_p 는 각각 광 다이오드의 등가저항과 캐패시턴스이며, $i_{eff,n}$ 은 각각 광 다이오드에서 발생되는 전류이다. VMDP의 출력단에서의 전류와 전압은 다음식과 같다.

$$\begin{pmatrix} V_N \\ I_N \end{pmatrix} = \sum_{K=1}^N (M2 \cdot M1)^{N-K} \begin{pmatrix} 0 \\ i_K \end{pmatrix} + (M2 \cdot M1)^N M1^{-1} \begin{pmatrix} V_0 \\ I_0 \end{pmatrix}$$

$$[i_K = \eta_0 ((1 - \eta_0) k^2)^{K-1} \exp(-\beta_{opt}(f) \cdot (K-1)) \cdot \frac{1}{1 + j\omega/w_c}]$$

$M1$ 과 $M2$ 는 전송선과 광 다이오드를 ABCD행렬로 표현한 것이다. η_0 는 광다이오드의 양자효율이며 k 는 광 도파로에서 흡수층이 있는 부분과 없는 부분 사이에서 파가 진행할 때 나타나는 결합효율이다. β_{opt} 는 광 파의 속도에 의해서 결정되는 주파수에 따른 위상상수를 나타낸다. 위의 식을 풀기 위해서는 InGaAsP/InP를 기반으로 광 도파로를 설계하여 광파가 진행하는 속도를 알아야하며 전송선의 분산특성 및 주파수에 따른 임피던스와 손실의 값을 알아야한다. 또한 광 다이오드의 저항성분과 캐패시터 성분도 알아야한다⁽³⁾.

설계 및 Simulation에 의해 그림3의 결과를 얻을 수가 있었다. 입력 단에서 임피던스가 정합 됐을 경우 약 40%의 양자효율과 200GHz의 대역폭을 얻을 수 있었고 정합이 되지 않았을 경우 약 80%의 양자효율과 최소 약 30GHz의 대역폭을 얻을 수가 있었다.

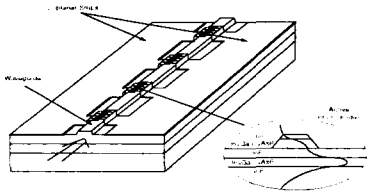


그림1. VMDP의 구조

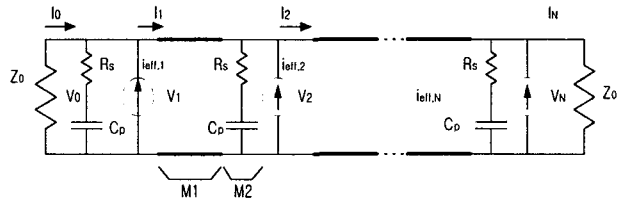
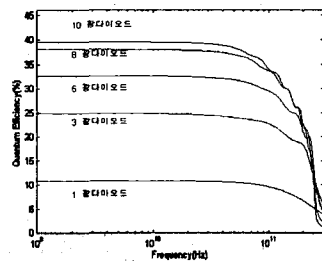
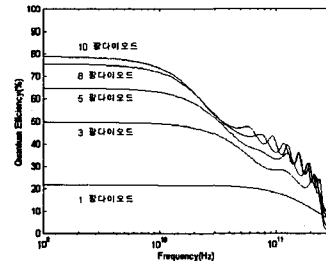


그림2 VMDP의 등가회로



(a)



(b)

그림3. 주파수에 따른 양자효율의 응답특성: (a)입력 단에서 50Ω의 저항을 연결했을 때, (b)입력 단에 50Ω의 저항을 연결하지 않았을 때

[참고문헌]

[1] K. C. Gupta, R. Garg, and I. J. Bahl, *Microstrip Lines and Slotlines*, Norwood, MA: Artech Hous, 1979, ch. 7.
 [2] R. E. Collin, *Foundations for Microwave Engineering*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1992, ch. 8.
 [3] S. Y. Chou and M. Y. Liu, "Nanoscale tera-hertz metal-semiconductor-metal photodetectors." *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 28, pp. 2358-2368, Oct., 1992