

전이 시간이 $1.55 \mu\text{m}$ 진행파형 광 검출기의 특성에 미치는 영향

Effect of the transit time on the characteristics of $1.55 \mu\text{m}$ traveling-wave waveguide photodetector

이정훈, 공순철, 이승진, 최영완
 중앙대학교 병렬광접속 연구실
 elec22@chollian.net

1. 서론

진행파형 광 검출기는 전기적으로 분포된(distributed) 구조이므로, 그 대역폭은 RC 시정수에 의해 제한되기보다는 광 흡수계수와 광과 마이크로파 사이의 진행속도 차에 의해 제한된다⁽¹⁾⁽²⁾. 진행파형 광 검출기에서 광과 마이크로파 사이의 속도 부정합이 대역폭에 미치는 영향은 속도 부정합 임펄스 반응(velocity-mismatch impulse response)의 제시를 통해 이미 분석되었다⁽¹⁾⁽²⁾. 그러나, 대역폭에 제한에 큰 영향을 미칠 것이 예상되는 진성 흡수 영역에서의 전송자 표류 시간은 아직 구체적으로 고려되지 않았다. 본 논문에서는 진성 흡수영역에서의 전송자 표류 시간을 고려하였다. 그 전이 시간(transit time)을 고려하기 위해 속도 부정합 임펄스 반응을 수정하여 제시하였다. 새로히 제시된 임펄스 반응은 광 도파로 해석과 진성 영역 분할에 의해 모델화 되었으며, 이 임펄스 반응을 통해 전이 시간과 속도 부정합이 대역폭에 미치는 영향을 살펴보았다.

2. 이론

광 해석에 의해 진성 흡수영역에서의 광 세기의 분포로부터 전송자의 분포를 구하였다. 진성 흡수영역에서의 전이 시간을 고려하기 위한 구조는 그림 1과 같다. 해석을 간단히 하기 위해, 소자의 폭은 무한하다고 가정하고, slab 광 도파로 해석⁽³⁾을 하면 위치에 따른 광 세기의 분포를 알 수 있고 진성 흡수영역을 분할하면, 각 분할영역에의 광 세기는 각 분할영역에 대해 적분을 취해 구할 수 있다. 소자에 충분한 바이어스 전압이 걸렸다고 가정 하였고, 각 분할 영역에서 발생된 전송자는 도핑 영역까지 포화 속도(saturation velocity)로 표류에 의해 이동된다. 따라서 각 분할 영역은 위치에 따른 지연 성분을 갖는 전류원으로 생각할 수 있다. 속도 부정합 임펄스 반응에 대한 식은 다음과 같다⁽¹⁾⁽²⁾.

$$i(l, t) = \frac{\eta_i q}{h\nu} E_0 \left[\frac{\Gamma\alpha}{2} \frac{v_o v_e}{v_o - v_e} \text{Exp}\left(\Gamma\alpha \frac{v_o v_e}{v_o - v_e} \left(t - \frac{l}{v_e}\right)\right) u\left(\frac{l}{v_e} - t\right) \right. \\ \left. + \gamma \frac{\Gamma\alpha}{2} \frac{v_o v_e}{v_o + v_e} \text{Exp}\left(-\Gamma\alpha \frac{v_o v_e}{v_o + v_e} \left(t - \frac{l}{v_e}\right)\right) u\left(t - \frac{l}{v_e}\right) \right] \quad (1)$$

for $\frac{l}{v_o} \leq t \leq \frac{l}{v_o} + 2\frac{l}{v_e}$

η_i 는 내부 양자 효율, Γ 는 광 구속인자, α 는 광 흡수계수, E_0 는 광 임펄스의 총 세기, γ 는 입력 단에서의 반사계수, v_o, v_e 는 각각 광과 마이크로파의 진행 속도, u 는 단위 함수를 나타낸다.

식(1)의 임펄스 반응에 전이 시간을 고려한 새로운 수식은 다음 식(2)와 같다.

$$i_{total}(l, t) = \sum_{n=1}^N I_n \text{current}_n(l, t) \quad (2)$$

$$\text{current}_n(l, t) = \frac{\eta_i q}{h\nu} E_0 \left[\frac{\Gamma\alpha}{2} \frac{v_o v_e t}{v_o t - v_e(t - \tau_n)} \text{Exp}\left(\Gamma\alpha \frac{v_o v_e t}{v_o t - v_e(t - \tau_n)} \left(t - \tau_n - \frac{l}{v_e}\right)\right) u\left(\frac{l}{v_e} + \tau_n - t\right) \right. \\ \left. + \gamma \frac{\Gamma\alpha}{2} \frac{v_o v_e t}{v_o t + v_e(t - \tau_n)} \text{Exp}\left(-\Gamma\alpha \frac{v_o v_e t}{v_o t + v_e(t - \tau_n)} \left(t - \tau_n - \frac{l}{v_e}\right)\right) u\left(t - \tau_n - \frac{l}{v_e}\right) \right]$$

$$\text{for } \frac{l}{v_o} + \tau_n \leq t \leq \frac{l}{v_o} + 2\frac{l}{v_e} + \tau_n$$

여기서 $\tau_n = \frac{(2n-1)r}{2} + \frac{D_1}{V_{sat}}$, $r = \frac{D}{N V_{sat}}$, N은 진성 흡수영역을 분할한 수, D는 진성 흡수영역의 두께, D_1 은 클래딩 영역의 두께, V_{sat} 은 포화속도, l_n 은 n번째 분할영역의 정규화된 광 세기를 나타낸다.

1.55 μm 에서 동작하는 광 검출기의 층 구조는 다음과 같다. 0.3mm intrinsic $\text{In}_{0.62}\text{Ga}_{0.38}\text{As}_{0.83}\text{P}_{0.17}$ ($\lambda = 1.485 \mu\text{m}$) 동작영역은 도핑이 안된 0.35 mm InP 층으로 둘러싸여 있다. slab 광 해석을 통해 구해진 유효 굴절지수는 대략적으로 3.566 이다. 시뮬레이션을 위한 조건은 다음과 같다.

$\eta_i = 1$, $E_0 = 1$, $\Gamma \alpha = 0.1 \mu\text{m}$, $V_{sat} = 10^7 \text{cm/s}$, $N = 500$, $L = 50 \mu\text{m}$, $v_e / v_o = 1/3$.

3. 결과 및 결론

그림 2는 전이 시간으로 인한 지연을 갖는 정규화된 광 세기를 나타낸다. 지연을 갖는 이 분포로부터 임펄스 반응의 모양과 3dB 대역폭에 상당한 영향을 미칠 것임을 예측할 수 있다. 그림 3, 4는 각 임펄스 반응과 주파수 반응이며, 그림 3에서 우리는 전이 시간이 임펄스 반응의 모양에 상당한 영향을 받음을 확인할 수 있다. 그림 4에서 전이 시간의 고려로 대역폭이 상당히 제한됨을 확인할 수 있고, 전이 시간을 고려하지 않은 경우의 3dB 대역폭은 대략적으로 278GHz이며, 전이 시간을 고려한 경우 3dB 대역폭은 전이 시간이 고려하지 않은 경우의 약 1/2인 125GHz로 전이 시간의 고려로 대역폭이 더욱 제한됨을 확인할 수 있었다.

[참고 문헌]

1. Kirk S. Giboney et al., "Traveling-wave photodetectors", IEEE Photon. Tech. Lett., vol.4, pp.1363-1365 (1992).
2. Kirk S. Giboney et al., "Traveling-wave photodetector theory", IEEE Trans. MTT, vol.45, pp.1310-1319 (1997).
2. Pollock, "Fundamentals of optoelectronics", Richard D. Irwin., INC., pp. 49-74 (1995).

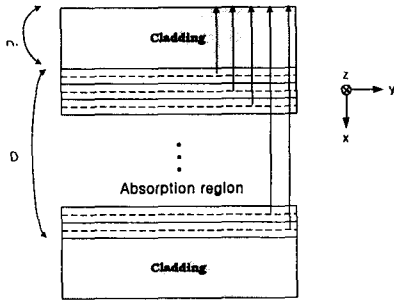


Fig.1. Model considering transit time

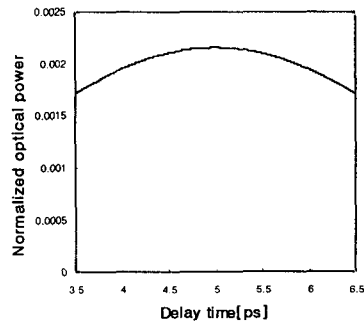


Fig.2. Delay time vs. normalized optical power

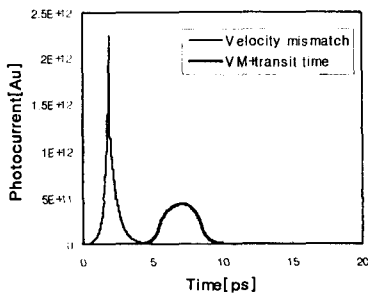


Fig.3. Impulse response

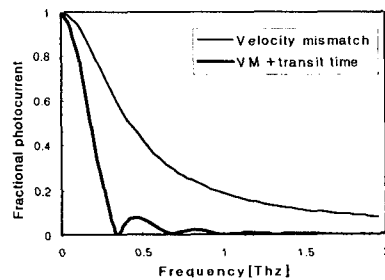


Fig.4. Frequency response