

# 증폭층 설계를 위한 local 모델과 non-local 모델의 비교 및 분석

## Analysis of local model and non-local model for a multiplication layer design

황성민, 심종인, 어영선  
한양대학교 전자전기제어계측공학과

### Abstract

The multiplication region of an APD(Avalanche photodiode) plays a critical role in determining the gain, the multiplication noise, and the gain-bandwidth product. we compared and analyzed the local model and the non-local model for a 10Gb/s APD designing.

### 1.Introduction

대용량, 장거리 전송 시스템에서 APD는 내부이득으로 인해 그 수요가 증가할 것이라 예상된다. 이를 위해서는 얇은 증폭층 두께 설계를 통해 낮은 잉여잡음계수, 높은 이득과 대역폭의 곱을 얻어야한다. APD의 설계에는 이용되는 모델로서는 local model[1]과 non-local model[2],[3]이 있다. 본 논문에서는 초고속 10Gb/s APD 설계를 위해 상기 두개의 모델의 정확성을 이론 및 실험적으로 비교 분석하였다. 이를 통해 증폭층 두께가 매우 얇은 초고속 APD의 설계에서는 non-local model을 사용하여야 함을 알 수 있었다.

### 2. 해석 구조 및 특성 평가

그림 1)은 높은 전기장이 인가된 증폭층 영역에서의 정공의 충돌 이온화의 개념도를 보여주고 있다. local model은 증폭층 두께  $t_m$ 가 dead length(이온화 확률을 얻는데 최소한의 거리)보다 충분히 클 경우 적용되는 model로서, 이온화 계수가 물질과 local 전기장의 함수이다. 반면 non-local model에서는  $t_m$ 이 줄어들어 dead length를 무시할 수 없다면, 캐리어가 생성된 위치와 충돌이 일어난 위치에 따라 이온화 계수가 달라진다. 식1), 식2)는 각각 local model과 non-local model의 전자와 정공의 이온화 계수를 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} \alpha(E) &= A_e \exp\left(-\left(\frac{E_{ce}}{E}\right)\right) & \alpha(x'|x) &= A_e \exp\left(-\left(\frac{E_{ce}}{E_{eff,e}(x'|x)}\right)\right) \\ & \dots\dots(\text{식 1}) & & \dots\dots(\text{식 2}) \\ \beta(E) &= A_h \exp\left(-\left(\frac{E_{ch}}{E}\right)\right) & \beta(x'|x) &= A_h \exp\left(-\left(\frac{E_{ch}}{E_{eff,h}(x'|x)}\right)\right) \end{aligned}$$

여기서  $A_e, A_h, E_{ce}, E_{ch}$ 는 실험으로 얻은 물질 파라미터이다.  $E$ 는 증폭층내의 local 전기장,  $E_{eff,e}, E_{eff,h}$ 는 캐리어가 생성된 위치  $x'$  과 이온화 충돌이 일어난 위치  $x$  사이에서의 유효 전기장으로 실제로 전자 및 정공이 느끼는 전기장을 나타낸 것이다. 그림 2)는 식1)과 식2)를 이용하여 정공의 이온화 계수를 나타낸 것이다. local model에서는 이온화계수가 일정한 반면, non-local model에서는 증가하다가 포화상태에 이르는 것을 볼 수 있다. 이는 캐리어

가 진행하면서 전기장으로부터 축적된 에너지에 의해 이온화 계수가 증가하다가 nonionizing scattering로 인한 에너지 손실에 의해 평형을 이루게 된 것이다. 그림 3)은 증폭층 두께를 달리하여 전기장의 세기에 따른 이득을 나타낸 것이다. 증폭층 두께가 작아짐에 따라 local model에서 이득을 과대 평가함을 알 수 있다. 그림 4)는 증폭층의 두께와 이득에 따른 잉여잡음계수를 나타낸 것이다.  $t_m$ 이 작아짐에 따라 local model에서 잉여잡음계수를 과대 평가하는 것은 물론, non-local model과는 달리 증가하는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

local model과 non-local model을 이용하여 증폭층 두께에 따른 APD 특성을 비교 및 분석하였다. 증폭층 두께가 낮아질수록, 이득과 잉여잡음계수는 non-local model에 비해 local model을 사용한 경우에서 크게 나타났다. 실험적인 값은 non-local을 사용한 경우에는 거의 실험치와 유사한 결과를 얻어, 초고속 APD 설계 시에는 non-local model이 유효함을 알 수 있었다.

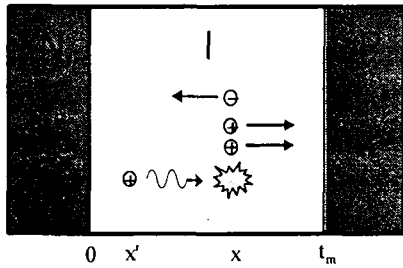


그림 1. 증폭층 영역에서의 정공의 충돌 이온화 개념도

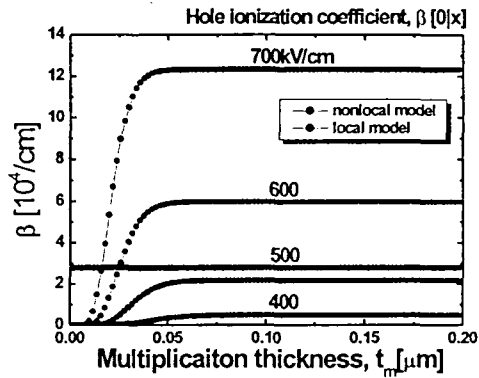


그림 2. 정공의 이온화 계수

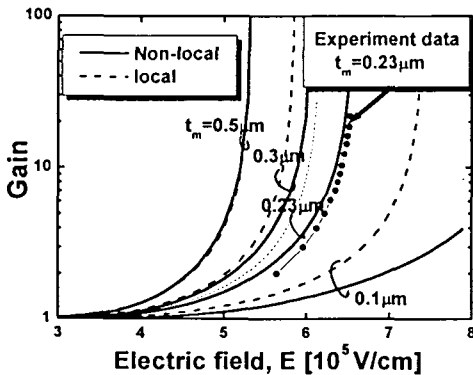


그림 3. 전기장 세기에 따른 이득

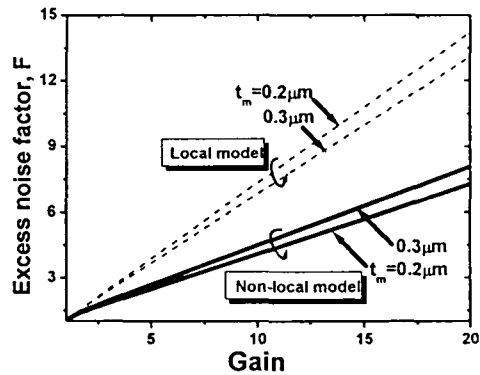


그림 4. 이득에 따른 잉여잡음계수

Reference

1. K. Taguchi, et al, Appl. Phys. vol. 59, pp. 476-481, 1986.
2. R. J. McIntyre. IEEE Trans. Electron Devices, vol.46, no.8, pp.1623-1631, Aug. 1999
3. P. Yuan, et al, IEEE Trans. Electron Devices, vol.46, no.8, pp.1632-1639, Aug. 1999