

RF MOSFET의 단위 Finger 폭에 대한 f_T 및 f_{max} 종속성 분석*

차지용, 차준영, 정대현, 이성현
 한국외국어대학교 전자정보공학과

E-mail : chaji2@hufs.ac.kr, cjy@hufs.ac.kr, jdhz1115@hufs.ac.kr, shlee@hufs.ac.kr

Analysis of f_T and f_{max} Dependence on Unit Finger Width for RF MOSFETs

Jiyong Cha, Jun-Young Cha, Daehyoun Jung, Seongheam Lee

Department of Electronic Engineering, Hankuk University of Foreign Studies, Korea

Abstract

The dependence of f_T and f_{max} on the unit finger width is measured and analyzed for $0.13\mu\text{m}$ MOSFETs. The increase of f_T at narrow width is attributed by the parasitic gate-bulk capacitance, and the decrease of f_T at wide width is generated by the reduction of increasing rate of g_{m0} . The increase of f_{max} at narrow width is originated from the abrupt reduction of gate resistance due to the non-quasi-static effect. These analysis results will be valuable information for layout optimization to improve f_T and f_{max} .

I. 서론

RF IC block 제조를 위해서는 MOSFET의 RF 성능이 크게 향상되어야 하며, 이러한 MOSFET RF 성능은 down-scaling이 될수록 향상된다. 이에 따라 MOSFET의 Foundry 공정은 $0.13\mu\text{m}$ 로 게이트 길이(L_g)가 점점 줄어드는 추세에 있으며, 이에 따른 MOSFET 소자의 RF 성능을 나타내는 척도로써 차단주파수인 f_c 와 최대진동주파수인 f_{max} 가 일반적으로 사용되고 있다. 이러한 RF 성능을 극대화하기 위해서는 multi-finger 게이트 레이아웃의 파라미터인 number of finger(Nf) 및 unit finger width(W_u)의 최적화가 동시에 필요하다. 하지만 기존에

는 Nf에 대한 f_T 및 f_{max} 의 종속성 연구가 주로 진행되어 왔으며, W_u 에 대한 종속 데이터에 대한 정확한 물리적 분석결과는 보고되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 $0.13\mu\text{m}$ MOSFET의 측정된 f_T 와 f_{max} 의 W_u 에 대한 종속 데이터를 제시하고 이에 대한 물리적 분석연구를 수행하였다.

II. 본론

본 연구에서는 L_g 가 $0.13\mu\text{m}$ 이고 W_u 가 $1.2\sim 10\mu\text{m}$ 까지의

범위를 가지며 Nf가 16인 multi-finger 형태의 N-MOSFET 소자들을 사용하였으며, on-wafer 상에서 10MHz~40GHz까지 S-parameter를 측정하였다. 또한 RF probe 패드 및 금속배선 패드의 기생성분을 제거하기 위하여 de-embedding을 수행하였다[1].

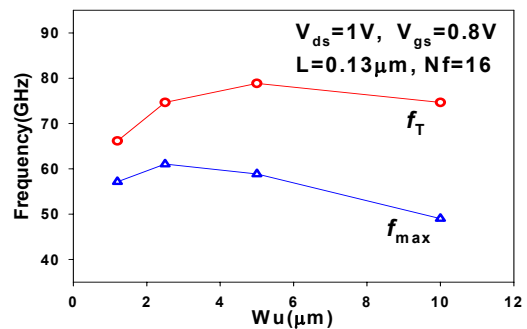


그림 1. W_u 증가에 따른 추출된 f_T 와 f_{max} 데이터

차단 주파수는 current gain(H_{21})이 1이 되는 주파수로 추출되었으며, W_u 변화에 따른 추출 결과는 그림 1과 같다. 측정된 f_T 값은 $1.2\mu\text{m} < W_u < 2.5\mu\text{m}$ 에서 급격히 증가하고 $5\mu\text{m} < W_u < 10\mu\text{m}$ 에서 서서히 감소하는 현상을 볼 수 있는데 이러한 f_T 의 W_u 종속성을 분석하기 위해 다음과 같은 f_T 표현식을 사용하였다.

$$f_T = \frac{g_{m0}}{2\pi(C_{gs} + C_{gd} + C_p)} \quad (1)$$

여기서 g_{m0} 는 transconductance이고 C_{gs} 와 C_{gd} 는 각각 gate-source와 gate-drain사이의 내부 capacitance로써 W_u 에 비례한다. 하지만 C_p 는 채널 외부에 위치한 parasitic gate-bulk capacitance로써 W_u 에 무관한 성분을 나타낸다. 위의 식(1)의 g_{m0} 와 $C_{gs} + C_{gd} + C_p$ 의 추출은 소신호 등가회로 모델에서 외부 저항과 capacitance를 제거한 intrinsic Y^i -parameter로 부터 유도된 다음과 같은 방정식들을 사용하였다[4].

$$g_{m0} = |(Y_{21}^i - Y_{12}^i)| \quad (2)$$

* 본 연구는 지식경제부의 성장동력기술개발사업으로 수행되었음.

$$C_{gd} + C_{gs} + C_p = -\frac{1}{\omega} \text{Image}(Y_{12}^i) + \frac{1}{\omega} \text{Image}(Y_{11}^i + Y_{22}^i) \quad (3)$$

이때 C_p 값은 그림 2에서 얻어진 $C_{gs} + C_{gd} + C_p$ 를 W_u 로 그린 데이터를 외삽하여 얻어진 y-절편 값으로 추출되었으며 $C_p = 5.78\text{fF}$ 이다.

그림 1의 $1.2\mu\text{m} < W_u < 2.5\mu\text{m}$ 에서는 W_u 가 감소함에 따라 g_{mo} 와 $C_{gs} + C_{gd}$ 는 동시에 감소하지만 W_u 에 무관한 C_p 성분은 일정하므로 식(1)에서 f_T 가 감소되는 것을 알 수 있다. 또한 $2.5\mu\text{m} < W_u < 5\mu\text{m}$ 인 영역에서는 W_u 의 증가에 따라 g_{mo} 와 $C_{gs} + C_{gd}$ 성분이 동시에 증가되어 식(1)에서 C_p 가 무시되므로, f_T 는 W_u 에 무관하게 일정한 것을 알 수 있다.

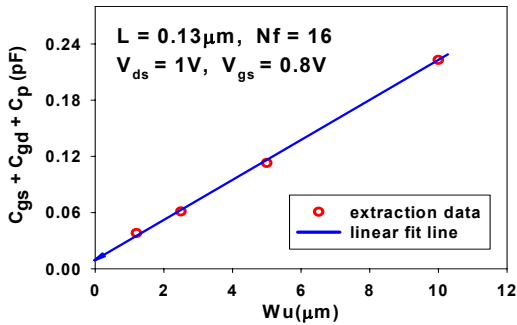


그림 2. W_u 증가에 따른 추출된 $C_{gs} + C_{gd} + C_p$ 데이터

하지만 $W_u > 5\mu\text{m}$ 영역에서는 f_T 가 감소하는 현상을 볼 수 있는데 이는 C_p 가 무시되는 W_u 가 큰 영역에서 wide width 효과[2]로 인하여 식(1)에 있는 g_{mo} 의 증가율이 그림 3과 같이 감소하여 나타는 현상으로 설명 할 수 있다.

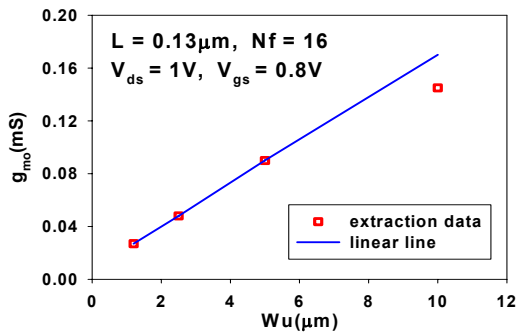


그림 3. W_u 증가에 따른 추출된 g_{mo} 데이터

최대진동주파수는 maximum available power gain (MAG)이 1이 되는 주파수로 추출되었으며, W_u 의 변화에 따른 추출 결과는 그림 1과 같다. 그림 1에서 측정된 f_{max} 값은 $1.2\mu\text{m} < W_u < 2.5\mu\text{m}$ 에서 증가되고 $2.5\mu\text{m} < W_u < 10\mu\text{m}$ 에서 부터 감소하는 현상을 볼 수 있는데 이러한 W_u 종속성을 분석하기 위해 다음과 같은 f_{max} 표현식을 사용하였다.

$$f_{max} = \sqrt{\frac{f_T}{8\pi R_g C_{gd}}} \quad (4)$$

위의 식 (4)에 있는 R_g 데이터는 최대 40GHz까지의 높은 주파수(HF)에서 측정된 $\text{Real}(Z_{11} - Z_{12})$ 대 ω^{-2} 그래프의 y-절편 값을 사용하여 추출하였으며[4], W_u 의 함

수로 그린 그래프는 그림 4와 같다.

일반적으로 W_u 에 따라 비례하는 gate polysilicon 저항을 생각한다면 W_u 가 증가함에 따라 C_{gd} 와 R_g 가 동시에 상승하여 f_{max} 값은 줄어들어야 한다. 하지만 그림 1과 같이 좁은 W_u 에서 상승하는 f_{max} 종속성은 그림 4처럼 W_u 의 증가에 따라 R_g 가 급격히 감소되는 non-quasi-static(NQS) 효과[3]를 통해 설명할 수 있다. 즉 W_u 의 증가에 따라 감소되는 R_g 와 증가되는 C_{gd} 가 서로 상쇄되어 식(4)에서 f_{max} 가 $\sqrt{f_T}$ 에 비례하는 결과로 볼 수 있다. 또한 $W_u > 2.5\mu\text{m}$ 인 경우 그림 1에서 f_{max} 가 감소하게 되는데, 이는 W_u 에 따른 R_g 의 감소율이 그림 4처럼 점점 줄어들지만 C_{gd} 는 일정하게 증가하기 때문에 발생되는 것으로 판단된다.

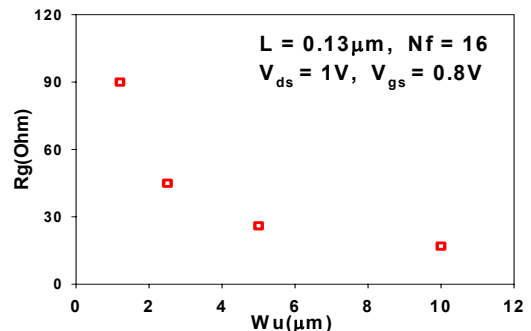


그림 4. W_u 증가에 따른 추출된 R_g 데이터

이러한 자세한 분석을 통해 W_u 에 따라 f_T 와 f_{max} 에 최대값이 존재하는 원인이 파악되었고, 이러한 분석결과는 RF 성능을 극대화를 위한 레이아웃 최적화에 크게 활용될 수 있다.

III. 결론

본 연구에서는 W_u 변화에 따라 최대값이 존재하는 f_T 및 f_{max} 의 종속성을 측정하고 분석하였다. 좁은 W_u 영역에서의 f_T 의 상승은 C_p 에 의해 발생되며, 넓은 W_u 에서 f_T 의 감소는 g_{mo} 증가율의 감소로 인해 발생됨을 알 수 있었다. 또한 좁은 W_u 영역에서 f_{max} 의 상승은 NQS 효과로 인한 급속한 R_g 감소로 발생되는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 분석 데이터는 RF 소자 성능 향상을 위한 레이아웃 최적화에 큰 도움이 될 것이다.

참고문헌

- [1] S. Lee, IEEE Trans. Electron Device, vol. 46, p. 275-280, 1999.
- [2] 차지용, 차준영, 이성현, 대한전자공학회 논문지 SD편 vol. 45, No. 2, pp. 7-12, 2008.
- [3] 차지용, 차준영, 이성현, 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집 vol.30, pp. 321-322, 2007
- [4] S. Lee, Microwave and Optical Technology Lett., vol. 39, no. 4, pp. 344-347, 2003.