

# 기생 BJT의 DC 베이스저항 측정을 통한 MOSFET의 기판저항 추출

정대현, 차준영, 차지용, 이성현  
 한국의국어대학교 전자정보공학부

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

## Extraction of Substrate Resistance in MOSFET Through DC Base Resistance Measurement of Parasitic BJT

DaeHyoung Jung, Jun-Young Cha, Ji-Young Cha, Seonghearn Lee

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

### Abstract

This paper presents a new method to extract the substrate resistance by fitting current-dependent base resistance of parasitic BJT without a complex RF extraction method. The extracted substrate resistance values using the new method match well with those using the RF one, verifying the accuracy of the proposed DC technique.

### I. 서론

최근 우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 통신망의 수요가 급증함에 따라 무선 통신시장이 급속하게 성장하고 있다. 따라서 이동통신기술의 발달과 함께 개인용 단말기의 급속한 수요증가로 인하여 저가격과 안정된 공정을 기반으로 한 silicon RF IC의 중요성이 한층 부각되고 있으며, 이러한 IC의 핵심부품인 silicon MOSFET의 정확한 모델링과 모델 파라미터 추출이 매우 중요하다. 특히 출력정합회로 설계에 매우 중요한 MOSFET의 출력특성이 substrate 저항  $R_{sub}$ 에 크게 의존하므로  $R_{sub}$ 의 정확한 추출이 매우 중요하다. 하지만 높은 주파수 영역의 S-parameter를 이용하여  $R_{sub}$ 를 측정하는 기존의 RF 추출방법 [1, 2]은 복잡함과 동시에 Network Analyzer와 같은 고가의 측정장비 및 정확한 on wafer calibration방법이 필요하다는 단점이 있다. 따라서 본 논문은 이와 같은 RF측정 없이 MOSFET의 substrate저항을 DC측정 데이터를 이용하여 추출하는 방법을 제시하였다.

### II. 본론

본 연구에서 사용된 NMOSFET은 gate length

$L=0.35\mu\text{m}$ , unit finger width  $W_u=2.5\mu\text{m}$ , gate finger number  $NF = 4, 16, 64$  인 multi-finger구조이다.

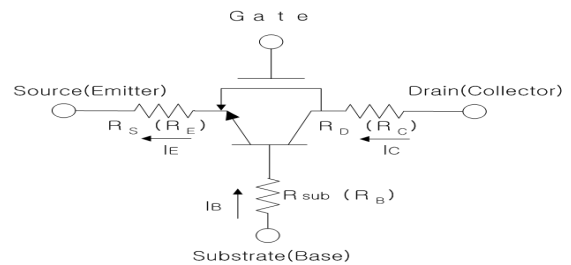


그림 1. Parasitic BJT를 포함한 NMOSFET 등가회로

그림 1은 이러한 NMOSFET의 substrate영역을 parasitic bipolar junction transistor(BJT)로 모델화한 등가회로를 보여준다. 본 연구에서는 이 등가회로에 있는 parasitic BJT에 forward bias를 가해줌으로써  $R_B$  즉  $R_{sub}$ 를 측정하는 방법을 사용하였다. 일반적인 vertical BJT에서는 일정한 전류이득( $\beta$ )과  $I_C$ 를 이용하여  $R_B$ 를 추출하였으나 [3], parasitic BJT의  $I_C$ 는 그림 2에서 보여주는 것처럼  $I_C$ 누설전류가 크게 증가되어  $\beta$ 가 일정한 중간 전류영역이 존재하지 않게 되므로 기존의 방법을 사용할 수 없게 된다.

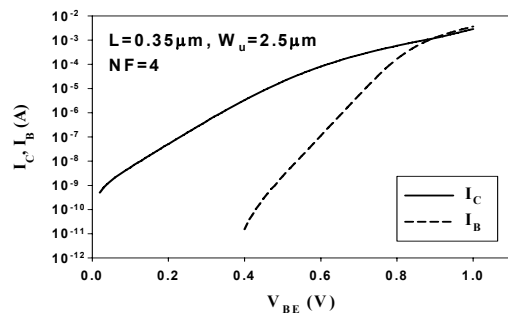


그림 2. 측정된 순방향 Gummel-Plot 곡선

\* 본 연구는 IDEC의 CAD 툴 지원에 의해 수행되었음

따라서 본 논문에서는 parasitic BJT의  $\beta$  측정없이  $I_B$ 로부터  $R_B$ 를 직접 측정하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 고전류 영역에서  $R_B$  양단의 전압강하를 측정하여 베이스저항을 구하는 방식으로 구체적인 추출방정식은 다음과 같다.

$$V_{BE} = V_{BE}' + I_B R_{sub} + I_E R_E \quad (1)$$

또한  $V_{BE}'$ 에 관한  $I_B$ 의 식은 다음과 같다.

$$I_B = I_S \left( e^{\frac{V_{BE}'}{NE \cdot V_T}} - 1 \right) \quad (2)$$

이 두식을 연립하여 풀면 다음과 같은 베이스 저항 추출방정식을 얻을 수 있다.

$$R_B = \frac{(V_{BE} - NE \cdot V_T \cdot \ln \frac{I_B}{I_S} + I_E R_E)}{I_B} \quad (3)$$

여기에서 NE는  $I_B$ 의 ideality factor이고 그림 2의 기울기로부터 추출된다.  $R_E$ 는 컬렉터를 오픈시킨 후  $I_B$ 를 가변시키면서  $V_C$ 와  $I_B$ 의 기울기로부터 추출한다.

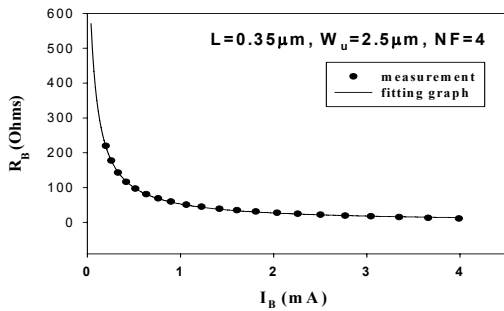


그림 3. 식(3)으로 추출된  $R_B$ 대  $I_B$  그래프

그림 3은 식(3)으로부터 측정된  $R_B$ 를  $I_B$  함수로 그린 결과로서  $R_B$ 가 급격히 감소하여 saturation되는 것을 알 수 있다. 이는 순방향  $V_{BE}$ 에서 전류의 증가에 따라 전압강하가 적은 이미터 접합영역의 substrate contact 쪽으로 전류가 몰리는 current crowding 현상 때문이다 [4]. 하지만 실제 MOSFET으로 동작할 때 소스접합영역은 substrate 단자와 역방향 bias가 가해지므로  $I_B=0$ 가 되어 current crowding 현상이 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 그림 3의 전류종속  $R_B$  측정데이터를 다음과 같은 current crowding analytical 방정식 [4]으로 curve-fitting하여  $I_B=0$ 일 때의  $R_B$ 를 DC방법으로 추출하였다.

$$R_B = R_{ec} + R_{sb} = \frac{R_{eco}}{(1+k \cdot I_B)} + R_{sb} \quad (4)$$

여기에서  $R_{ec}$ 는  $I_B$ 에 따라 감소되는 current crowding

저항이고  $R_{sb}$ 는 소스와 벌크 접촉영역사이의 전류종속성이 없는 저항이다. 식 (4)의  $R_{eco}$ ,  $k$ ,  $R_{sb}$ 는 그림 3의  $I_B$  종속데이터를 curve-fitting하여 추출되었고, 실제 MOSFET의  $R_{sub}$ 는  $I_B=0$ 일때의  $R_B$ 인  $R_{eco}+R_{sb}$ 로 결정할 수 있다. 그림 3에서 보여주는 바와 같이 fitting한 그래프와 측정데이터는 아주 잘 일치되었으며, 이는 식 (4)가 물리적으로 합당함을 보여준다.

이러한 새로운 DC추출방법으로 NF=16와 64인 NMOSFET의  $R_{sub}$ 도 추출되었으며, 정확도를 검증하기 위하여 기존의 RF 방법 [5]으로부터 추출한 값들과 비교하였다. 이때의 RF 추출데이터는 측정된  $S_{22}$ -parameter와 20GHz까지 일치되도록 RF BSIM3v3모델의  $R_{sub}$ 를 가변시키면서 결정되었다. 그림 4에서 보여 주듯이 NF = 4, 16, 64 모두 잘 일치됨을 알 수 있다.

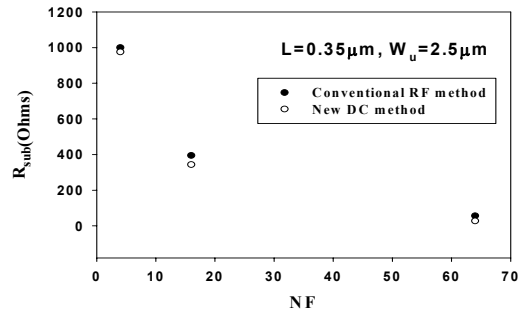


그림 4. 새로운 DC방법과 기존 RF방법으로 추출된  $R_{sub}$  값들의 비교

### III 결론

본 논문은 multi-finger RF MOSFET의 기판저항을 기존의 복잡한 RF추출방법을 사용하지 않고 전류종속 DC 측정 데이터를 curve-fitting하여 추출하는 새로운 방법을 제시하였다. 이와 같은 새로운 DC방법으로 추출된  $R_{sub}$  값은 기존의 RF방법으로 얻어진 값들과 비교적 잘 일치하였으며, 이는 새롭게 제안한 DC측정방법의 정확성을 입증한다.

### 참고문헌

- [1] S. Lee *et. al.*, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 48, pp. 1374-1379, 2001.
- [2] S. Lee, Microwave and Optical Technology Lett., vol. 39, pp. 344-347, 2003.
- [3] Colin C. McAndrew, Biopolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting, 2006, pp.1-4.
- [4] David J. Roulston, Bipolar Semiconductor Devices, McGraw-Hill, 1990, pp. 250-251.
- [5] 김종혁, 이성현, 김영욱, 대한전자공학회 하계종합학술대회, 제29권, 제1호, pp.545- 546, 2006.