

논문 2007-44SD-7-2

# UHF 대역 수동형 RFID 태그 쇼트키 다이오드 특성 분석 및 전압채배기 설계

(Characterization of Schottky Diodes and Design of Voltage Multiplier for UHF-band Passive RFID Transponder)

이 종 욱\*, 트란 난\*\*

(Jong-Wook Lee and Nhan Tran)

## 요 약

본 논문에서는 UHF 대역 수동 RFID 태그(UHF-band passive RFID tag) 칩 제작에 필수적인 요소인 쇼트키(Schottky) 다이오드를 CMOS 공정으로 제작하고 크기에 따른 특성을 분석하였으며 이를 이용하여 전압채배기를 설계하였다. 쇼트키 다이오드는 Titanium-Silicon 접합을 이용하여 제작되었으며,  $4 \times 10 \times 10 \mu\text{m}^2$ 의 면적을 가지는 쇼트키 다이오드는 20  $\mu\text{A}$ 의 전류 구동에 대해 약 0.15 V의 순방향 전압 강하의 우수한 특성을 나타내었다. 역방향 파괴전압(breakdown)은 약 -9 V로 수동 RFID 태그 칩의 전압채배기에 사용될 수 있는 충분한 값을 나타내었다. 제작된 쇼트키 다이오드의 소신호 등가모델을 이용하여 다이오드의 크기에 따른 순방향 전압강하와 입력 임피던스간의 trade-off에 대해 분석하였다. 이를 이용하여 제작된 6-단 전압채배기는 900 MHz 주파수, 200mV 최대 입력 전압에 대해 1.3 V이상의 출력 전압 특성을 나타내어 인식거리가 비교적 큰 수동형 태그에 적합한 특성을 나타내었다.

## Abstract

In this paper, we present the design of Schottky diodes and voltage multiplier for UHF-band passive RFID applications. The Schottky diodes were fabricated using Titanium (Ti/Al/Ta/Al)-Silicon (n-type) junction in 0.35  $\mu\text{m}$  CMOS process. The Schottky diode having  $4 \times 10 \times 10 \mu\text{m}^2$  contact area showed a turn-on voltage of about 150 mV for the forward diode current of 20  $\mu\text{A}$ . The breakdown voltage is about -9 V, which provides sufficient peak inverse voltage necessary for the voltage multiplier in the RFID tag chip. The effect of the size of Schottky diode on the turn-on voltage and the input impedance at 900 MHz was investigated using small-signal equivalent model. Also, the effect of quality factor of the diode on the input voltage to the tag chip is examined, which indicates that high quality factor Schottky diode is desirable to minimize loss. The fabricated voltage multiplier resulted in a output voltage of more than 1.3 V for the input RF signal of 200mV, which is suitable for long-range RFID applications.

**Keywords :** RFID, tag, impedance matching, voltage multiplier, antenna

## I. 서 론

RFID 시스템은 미래 IT 시장을 선도할 수 있는 높은 성장 잠재력과 파급효과를 가진 기반 기술로 인식되어

전 세계적으로 현재 다양한 주파수 대역에서 개발되고 있다. 우리나라에서 최근 주파수가 할당된 900 MHz UHF 대역 RFID 시스템은 기존의 13.56MHz 대역 자기 유도방식 보다 비교적 먼 거리에서 인식을 할 수 있는 비접촉식, 그리고 고속 태그 인식 등의 장점을 지니고 있어 향후 다양한 서비스에 적용될 것으로 전망된다<sup>[1]</sup>.

UHF 대역 수동 RFID (passive RFID) 시스템은 back-scattering 통신 방식을 사용하며 그림 1에 나타낸 바와 같이 태그 안테나와 칩으로 구성된다<sup>[2]</sup>. 태그 칩은 태그 안테나에서 수신한 RF 전력의 일부를 DC

\* 정회원, \*\* 학생회원, 경희대학교 전자정보대학 (School of Electronics and Information, Kyung Hee University)

※ 본 논문은 2006년도 교육인적자원부 학술연구조성 사업비로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-331-D00427).

접수일자: 2007년1월11일, 수정완료일: 2007년6월14일

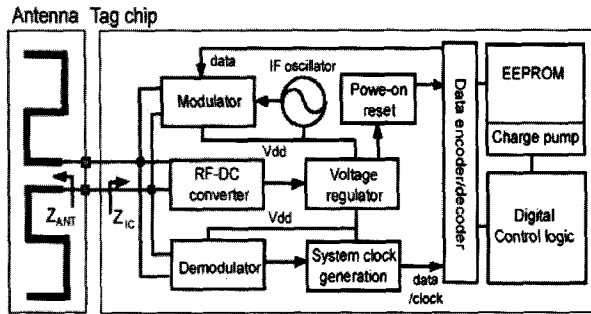


그림 1. 안테나와 IC 칩으로 구성되는 UHF 대역 수동형 RFID 태그

Fig. 1. Structure of UHF-band passive RFID tag consisting of tag antenna and tag chip.

전압으로 변환하여 칩 내부 회로 구동에 공급하는 전압채배기, 리더에서의 전파를 디지털 데이터로 인식하는 복조기, 태그 안테나에서 backscatter되는 전파의 크기를 변화시켜주는 변조기, 그리고 디지털 정보를 저장하는 메모리와 디지털 제어 회로 블록 등으로 구성된다<sup>[3,4]</sup>.

별도의 전원이 없는 수동형 RFID 태그의 경우 리더에서의 전력을 수신하여 태그 내부 회로를 구동하기 때문에 태그 안테나에서 수신된 전력이 태그 내부 회로, 특히, 전압채배기를 구동하기 위한 문턱전압(threshold voltage) 이상을 공급할 수 있는 거리로 인식거리가 제한된다<sup>[5]</sup>. 그러므로 전압채배기를 구성하는 쇼트키 다이오드의 특성은 RFID 태그 칩의 인식거리를 결정하는 중요한 요소가 된다.

쇼트키 다이오드는 III-V 화합물을 이용한 공정에서 널리 사용되어 왔으나, 디지털 회로의 집적을 통해 저가격을 구현해야 하는 RFID 태그 칩에 사용되는 쇼트키 다이오드는 CMOS 공정에서 최적화되어야 한다. 최근 반파 정류회로와 밀리미터파 detector 회로 응용을 위한 CMOS 공정으로 제작된 쇼트키 다이오드 특성에 대해 보고되었다<sup>[6,7]</sup>. 이러한 CMOS 공정으로 제작된 쇼트키 다이오드와 관련된 연구동향은 향후 CMOS 디지털 회로와의 집적이 가능한 장점으로 많은 관심을 끌고 있다.

본 논문에서는 UHF 대역 (900 MHz) 수동형 RFID 개발에서 중요한 이슈인 태그의 인식거리와 관련하여 RFID 태그 칩에서 요구되는 성능 관점에서 0.35 μm CMOS 공정으로 제작된 쇼트키 다이오드의 특성을 살펴보고, 이를 이용하여 제작된 UHF 대역 전압채배기의 특성을 살펴보았다.

## II. RFID 수동 태그 인식거리 분석

그림 1의 수동형 RFID 태그에 대한 분석을 위해 간략화된 등가회로를 그림 2에 나타내었다. 여기서  $V_{tag}$ 는 RFID 리더에서의 전파에 의해 안테나에 유기되는 전압,  $R_A$ 는 안테나의 방사 저항(radiation resistance), 그리고  $L_A$ 는 안테나의 리액턴스 성분을 나타낸다. 안테나에 연결된 태그 칩 전체 회로는 안테나와 태그 칩이 정합 상태에 있을 때의 등가 회로를  $R_{IN}$ 과  $C_{IN}$ 으로 구성된 병렬 RC 회로 (입력 임피던스  $Z_{IN}$ )로 모델하였다<sup>[7]</sup>. 태그 칩은 여러 회로 블록으로 구성되지만, 다이오드와 커패시터로 구성된 전압채배기가 전체 임피던스에 가장 많은 영향을 미치며, 채배기의 입력 임피던스를 병렬 RC회로로 나타낼 수 있다<sup>[8]</sup>.

RC 회로의 양단 전압  $V_{IN}$ 은 태그 칩 내부 회로를 구동하기 위한 전압으로 최대 인식거리에서 전압채배기를 포함한 태그 칩의 구동에 필요한 문턱전압보다 커야 한다. Backscatter되는 전력은 태그가 받은 전력 중 태그 내 칩에서 사용하는 전력과 변조 손실을 제외하고 리더로 전송된다. 리더로부터의 출력  $P_{read}$ , 리더와 태그 안테나의 이득을 각각  $G_{read}$ 와  $G_{tag}$ , 그리고 리더로부터의 거리  $r$ 이 주어졌을 때, 태그가 수신하는 전력  $P_{tag}$ 는 다음 식에서 구할 수 있다.

$$P_{tag} = p(1 - |\Gamma_{read}|^2)P_{read}G_{read}G_{tag}\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \quad (1)$$

여기서  $P_{read}$ 와  $G_{read}$ 의 곱은 일반적으로 EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power)로 나타낸다.  $\Gamma_{read} = (Z_A - Z_0)/(Z_A + Z_0)$ 로 리더의 반사계수이고,  $p$ 는 편광 정합 계수(polarization mismatch factor)이다. 이 때 태

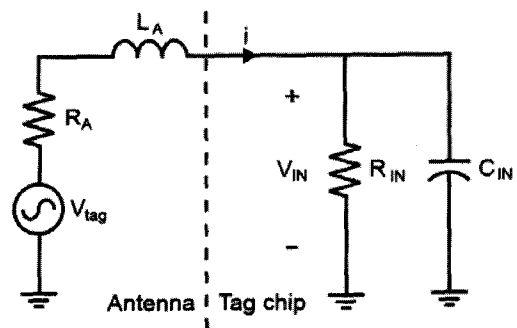


그림 2. 안테나와 IC 칩으로 구성되는 UHF 대역 수동형 RFID 태그의 등가회로

Fig. 2. Simplified equivalent circuit of the RFID tag consisting of tag antenna and tag chip.

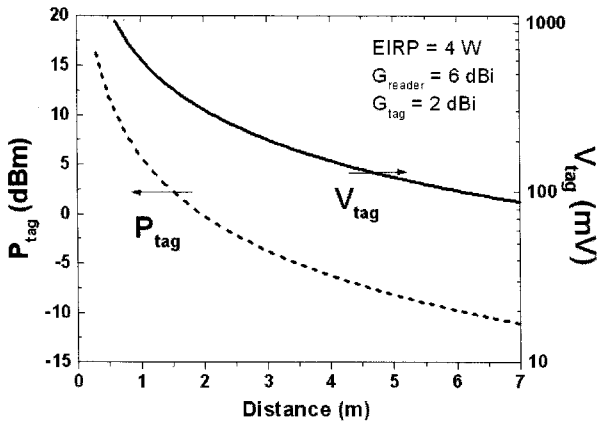


그림 3. RFID 태그의 거리에 따른 태그에서 가용한 전력과 태그 전압 특성  
 Fig. 3. Available power and voltage of the RFID tag for given EIRP and antenna gain as a function of distance.

그 안테나에 유기되는 전압  $V_{tag}$ 는 다음과 같다.

$$V_{tag} = \sqrt{8R_A P_{tag}} \quad (2)$$

그림 3에서는 안테나의 방사 저항  $R_A = 100 \Omega$ 를 사용하였을 때 거리에 따라 RFID 태그에 전달되는 전력과 전압의 특성을 나타내었다. 여기서  $\Gamma_{read} = 0$ , 그리고 리더 안테나는 원형 편파(circular polarization)를 이용한다고 가정하여  $p = 0.5$ 로 하였다. 그림 3에서 비접촉식 동작에 필요한 인식거리가 2 ~ 7m라고 가정할 경우 태그는 0 ~ -10 dBm 정도의 전력을 받게 되고, 이 경우  $V_{tag}$ 는 100 mV에서 300 mV 사이의 값을 가짐을 알 수 있다. 쇼트키 다이오드를 이용한 전압채배기는 이런 전력과 전압 조건에서 동작하도록 설계되어야 한다.

그림 3에 나타낸 값은 실제 전파환경에서는 일반적으로 더욱 감소되어 태그 안테나에서 받는 전력은 매우 미약하다. 태그 안테나와 태그 칩간의 반사계수를  $\Gamma_{tag} = (Z_A - Z_{IN}^*)(Z_A + Z_{IN})$ 와 태그의 최소 민감도(tag sensitivity)  $P_{th}$ 가 주어질 때 최대 인식거리  $r_{max}$ 는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$r_{max} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{p(1 - |\Gamma_{tag}|^2)P_{read}G_{read}G_{tag}}{P_{th}}} \quad (3)$$

태그 칩에서 사용 가능한 전력을 최대화하기 위해 안테나와 태그 칩은 공액정합 (conjugate match)된다. 태그 칩의 효율은 태그 칩에 공급되는 전압이 커질수록 증가하는데 이는 다이오드의 turn-on 전압에 의한 효과가 감소되기 때문이다. 이러한 효율 증가로 인한 인식

거리를 향상시킬 수 있는 설계 조건을 살펴보기 위해 그림 2에 나타낸 태그의 등가회로를 분석하였다. 그림 2에 나타낸 태그 칩과 안테나는 다음 조건에서 공액 정합되며,

$$R_A = \frac{R_{IN}}{1 + (\omega R_{IN} C_{IN})^2} \quad (4)$$

$$L_A = \frac{R_{IN}^2 C_{IN}}{1 + (\omega R_{IN} C_{IN})^2} \quad (5)$$

이 조건에서  $V_{IN}$ 의 값은 다음 식과 같다.

$$|V_{IN}| = \frac{|V_{tag}|}{2} \sqrt{1 + Q_{tag}^2} \quad (6)$$

여기서  $Q_{tag}$ 는 안테나와 태그 칩으로 이루어진 공진 회로의  $Q = \omega(\text{공진회로에 저장된 평균 에너지})/(\text{공진회로에서 소모된 에너지})$ 의 정의를 이용하면,  $Q_{tag} = (\omega \cdot R_{IN} \cdot C_{IN})$ 이다. 위 식 (6)에서 알 수 있듯이 태그 칩에서 사용할 수 있는 최대 전압은 태그 칩의 Q 값에 비례하여 증가함을 알 수 있다. 그러므로 RFID용으로 할당된 주파수 대역폭을 만족시킬 수 있는 범위 내에서 높은 quality factor를 가지도록 태그 칩을 설계하는 것이 인식거리 측면에서 유리하다<sup>[9]</sup>. 이런 이유에서 현재 상용 태그 칩의 경우도 대부분 10이상의 높은 Q값을 가지고 있다.

### III. 쇼트키 다이오드 제작 및 특성

본 논문에서 제작된 쇼트키 다이오드는 Titanium alloy (Ti/Al/Ta/Al)와 n-type 실리콘 접합을 이용하여 제작되었으며 레이아웃 도면을 그림 4에 나타내었다. N-well 내의  $n^+$ 영역(n-tap)이 cathode, 그리고 metal contact이 다이오드의 anode를 형성한다. 그리고  $p^+$ 영역(p-tap)이 N-well 영역 밖의 p-substrate에서 RF ground를 형성하고 있다. Anode와 cathode간의 diffusion간격은  $0.8 \mu\text{m}$ 로 하였는데 이는 공정에서 사용할 수 있는 최소 간격보다 약간 큰 값으로 n-well에 의한 기생 저항 값은 증가하나 채배기에서 사용시 충분한 역방향 파괴전압(breakdown voltage)을 제공한다.

그림 5에  $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ 의 면적을 가지는 쇼트키 다이오드의 전류-전압( $I_D - V_D$ ) 특성을 나타내었는데 순방향 전류-전압 특성에서 선형적인 외삽법으로 구한 turn-on 전압은 250 mV이다. 다이오드 전류  $I_D$ 를 이용하여 선형

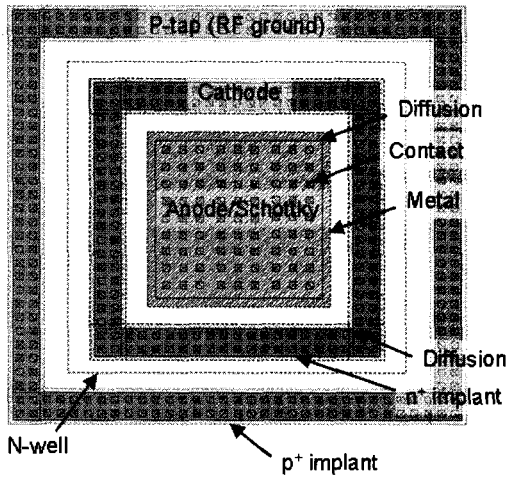


그림 4. CMOS 공정으로 제작된 쇼트키 다이오드의 레이아웃

Fig. 4. Layout of the Schottky diode fabricated using CMOS technology.

외삽법으로 구한 역방향 파괴전압은 약 -9.5V인데 이는 전압체배기의 동작에 충분한 breakdown 전압이다. 다이오드의 장벽전압(barrier height),  $\Phi_B$ 는 역방향 바이어스 조건에서 다음 식(7)으로 주어지는 Richardson 공식을 이용하여 구할 수 있다.

$$I_S = A_D \cdot A^* \cdot T^2 \exp\left(-\frac{\Phi_B}{V_T}\right) \quad (7)$$

여기서  $A^*$ 는 effective Richardson constant,  $A_D$ 는 다이오드의 면적,  $V_T$ 는 thermal voltage, 그리고  $I_S$ 는  $V_D=0$  인 점까지 직선으로 외삽하여 구한 포화전류이다. 식 (7)을 적용하여 얻은 장벽전압은 0.48 V이다.

그림 6에 여러 크기를 가지는 쇼트키 다이오드의 순방향 전압-전류 특성을 나타내었다. Unit 쇼트키 다이오드의 크기는  $10 \times 10 \mu\text{m}^2$  이고 병렬 연결된 다이오드의 수를 1, 2, 4, 6개로 하였을 때의 전류-전압 특성을 비교하였다. 20  $\mu\text{A}$ 의 전류구동 조건에서 이들 다이오드는 각각 0.19, 0.17, 0.15, 그리고 0.145 V의 turn-on 전압 강하가 있는 것을 알 수 있다. 같은 전류구동 조건에서 다이오드의 크기가 클수록 다이오드에 의한 전압 강하가 낮은 것을 알 수 있다. 다이오드의 면적이 클수록 낮은 turn-on 전압으로 전압체배기에서 높은 출력 전압을 얻을 수 있는 장점이 있으나, 이 면적에 따라 다이오드 자체의 커패시턴스도 커져, 낮은 입력 임피던스를 갖게 되어 태그 안테나에 유기된 전압을 태그 칩으로 전달하기가 어렵게 된다. 그러므로 900MHz 대역 RFID 태그 칩에 사용되는 전압체배기에서는 이

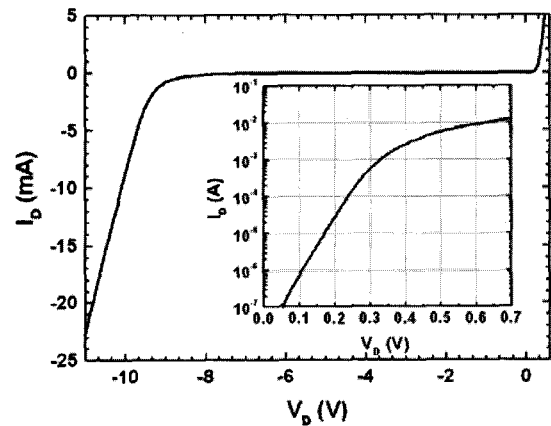


그림 5. 쇼트키 다이오드의 전압-전류 특성

Fig. 5. Measured current-voltage characteristic of the Schottky diode. Measured forward current characteristic is shown in inset.

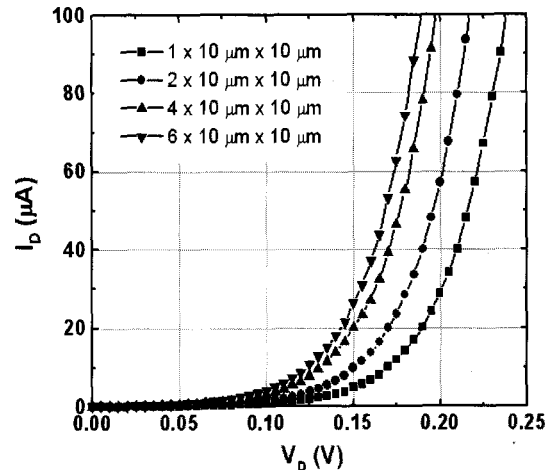


그림 6. 여러 크기를 가지는 쇼트키 다이오드의 순방향 전압-전류 특성

Fig. 6. Measured forward current voltage characteristic of the Schottky diode having different sizes.

를 고려하여 쇼트키 다이오드의 크기와 전압체배기의 단수를 결정하여야 한다.

다이오드의 크기에 따른 특성을 파악하고 전압체배기를 설계하기 위해서 제작된 쇼트키 다이오드의 모델을 0.5-20 GHz까지의 S-parameter 측정을 통해 추출하였다. 8510C 네트워크 분석기를 이용하여 LRRM calibration을 하고 short와 open dummy test patten을 이용하여 측정 pad의 특성을 de-embedding 하였다<sup>[10]</sup>.

#### IV. UHF 대역 전압체배기 특성

수동형 RFID 태그는 안테나에서 수신한 전력이 매우 작기 때문에 회로 구동에 필요한 전압으로 증가시키기

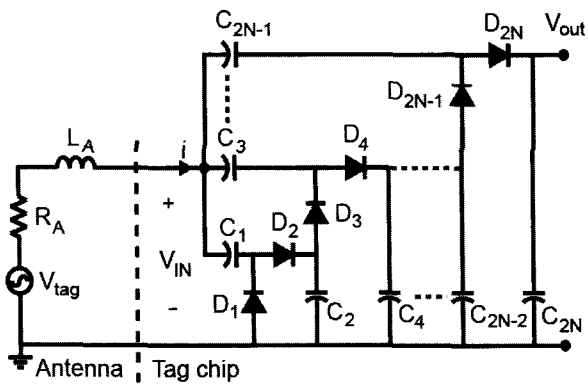


그림 9. N개의 전압배단을 가진 Dickson voltage multiplier의 회로도

Fig. 9. Circuit schematic of N-stage Dickson voltage multiplier.

위해 전압배배기를 이용한다. UHF-대역 RFID 태그 칩에 사용되는 전압배배기는 zero-threshold MOSFET을 사용한 경우<sup>[8, 12-14]</sup>, 그리고 쇼트키 다이오드를 경우가 보고되었다<sup>[3]</sup>. 일반적으로 높은 포화 전류와 작은 기생 저항 및 커패시턴스로 인해 쇼트키 다이오드가 MOSFET을 이용한 경우 보다 더 나은 성능을 나타내는 것으로 알려져 있다<sup>[7]</sup>.

그림 9에 본 논문에서 설계 및 제작한 배배기의 회로를 나타내었다. 이 구조는 N개의 전압배배단을 가지며 입력 측에서 바라보았을 때 커패시터가 병렬로 연결되고, 정상상태(steady state)에 있을 때 출력 DC 전압은 2N개의 다이오드에 역방향으로 나누어 걸리게 된다<sup>[11]</sup>.

추출된 다이오드 모델을 이용하여 그림 9에 나타낸 N=6인 전압배배기를 설계하였다. 다이오드의 크기가 클수록 같은 전류 구동에서 더 낮은 turn-on 전압을 가지나 그림 2의  $C_{IN}$ 값도 커짐으로서 높은 주파수를 사용하는 UHF대역에서는 유효한 입력 전압을 감소시킨다. 또한 쇼트키 다이오드의 크기에 비례하여 전도성 실리콘 기판에 의한 손실이 증가하고, 커플링 커패시턴스  $C_{2N}$ 와  $C_{2N-1}$ 의 값도 커져야 하기 때문에 전체 전압배배기의 크기가 커지므로 이를 고려한 설계가 필요하다.

Turn-on 전압과 UHF대역 동작조건을 고려하여 각 배배단은  $10 \times 10 \mu\text{m}^2$  를 쇼트키 다이오드를 사용하였고, 배배기의 전체 크기를 고려하여  $C_{2N} = C_{2N-1} = 2\text{pF}$  로 하였다. Coupling 커패시터는  $0.35 \mu\text{m}$  CMOS공정에서 제공되는 poly-insulator-poly(PIP) 커패시터를 사용하였다. 제작된 전압배배기의 사진을 그림 10에 나타내었으며, GSG (ground-signal-ground) coplanar probe를 이용하여 on-wafer로 측정하였다. 그림 11에

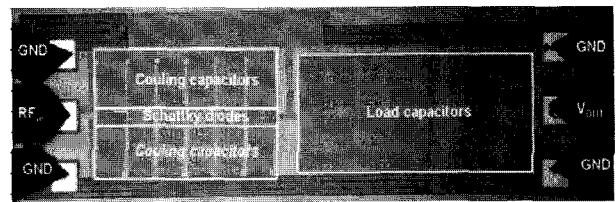


그림 10. 제작된 전압배배기의 측정 사진

Fig. 10. Microphotograph of on-wafer measurement of the fabricated multiplier.

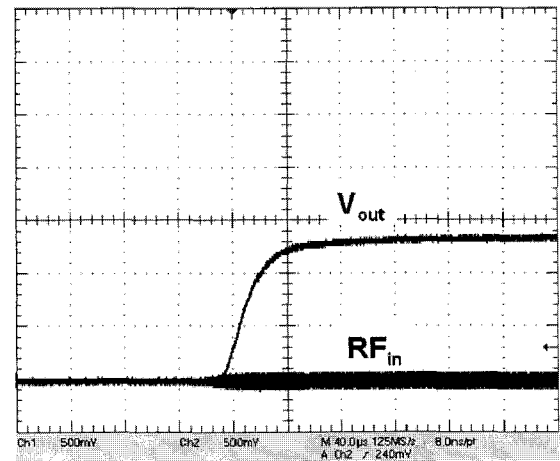


그림 11. 900 MHz RF입력에 대한 6단 전압배배기의 출력 특성

Fig. 11. Measured input and output characteristics of the UHF-band 6-stage voltage multiplier using Schottky diodes.

900MHz 입력 신호에 대해 측정된 전압배배기의 출력특성을 나타내었다. 출력 파형을 측정하기 위해 Tektronics 5510 오실로스코프를 사용하고 입력 임피던스는  $1 \text{ M}\Omega$ 을 사용하였다. 신호발생기는  $50\Omega$  출력 임피던스를 가지는 Rhode&Swartz SMIQ06B 신호발생기를 이용하여 900 MHz RF 신호를 공급하였다.

전압배배기로의 입력 최대 전압 200mV (peak-to-peak)에서 출력전압으로 1.3 V 이상의 전압을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 태그 칩 내부의 회로는 저전력으로 동작하기 위해 1 V 내외의 전압으로 동작되므로 설계된 전압배배기는 충분한 전압을 공급할 수 있으며, 그림 3의 그래프에서 인식거리가 전압배배기의 문턱전압에 의해서 주로 결정된다고 가정할 때 5 m이상의 인식거리를 확보할 수 있음을 알 수 있다.

표 2에 UHF대역에서 발표된 전압배배기의 특성을 비교하였다. 여기서 효율(%) =  $P_{out}/P_{in}$ 의 정의를 사용했으며, 일반적으로 효율은 배배단의 단수에 반비례한다. 다음 표에 나타내었듯이, 출력측의 부하 조건, 배배단의 단수, 그리고 제작 공정이 다르기 때문에 일률적으로

표 2. UHF대역에서 발표된 전압배기의 특성 비교  
Table 2. Comparison of the UHF-band voltage multipliers.

	Technology	주파수 (MHz)	효율 (%)	$P_{in}$ (dBm) @ $V_{out}=1V$	비고
[12]	0.25 $\mu\text{m}$ Low-Vth CMOS	450	11	-19	16단 정합회로사용
[13]	0.18 $\mu\text{m}$ Low-Vth CMOS	900	14	-13	1단 + charge pump
[14]	0.5 $\mu\text{m}$ Low-Vth SOS CMOS	2400	2	-8	3단 full-wave
[15]	0.3 $\mu\text{m}$ standard CMOS	950	1.2	N.A.	6단 full-wave, battery(active)
본 논문	0.35 $\mu\text{m}$ standard CMOS	900	2	-11	6단, 쇼트키 다이오드

비교하기는 어렵다. 본 논문에서는 다른 발표된 논문과는 달리 CMOS 표준 공정을 사용하여 제작된 쇼트키 다이오드를 사용하여 1 V의 출력 전압을 발생하는데 필요한 입력전력( $P_{in}$ )이 -11 dBm으로 비교적 우수한 특성을 나타내고 있다. 다이오드의 특성을 최적할 경우 좀 더 나은 성능을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 UHF 대역 RFID 태그 칩의 핵심 회로 블록인 전압배기에 사용할 수 있는 CMOS 공정으로 구현된 쇼트키 다이오드의 특성을 분석하였다. Titanium alloy (Ti/Al/Ta/Al)와 n-type 실리콘 접합을 이용하여 제작된 쇼트키 다이오드는 20  $\mu\text{A}$ 의 전류 구동에 대해 약 0.15 V의 turn-on 전압 특성을 나타내었다. 제작된 6-단 전압배기는 900 MHz 주파수, 200mV 최대 전압에 대해 1.3 V이상의 출력전압 특성을 나타내어 인식거리가 비교적 큰 수동형 태그에 적합한 특성을 나타내었다. 본 논문에서 제작된 쇼트키 다이오드와 전압배기는 설계 최적화를 통해 UHF-대역 수동형 태그 칩에 적합한 성능을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

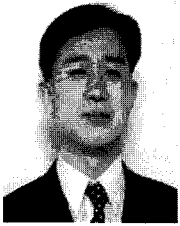
## 참 고 문 헌

- [1] EPCglobal, "EPC radio-frequency identity protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID air interface Ver. 1.0.9", 2005.
- [2] 표철식, 채종석, 김창주, "RFID 시스템 기술", 한국전자과학회지 전자과학기술, 제15권 2호, 2004년 4월.
- [3] U. Karthaus and M. Fischer, "Fully integrated passive UHF RFID transponder IC with 16.7-uW minimum RF input power", *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol. 38, pp. 1602-1608, Oct. 2003.
- [4] R. Glidden, C. Bockorick, S. Cooper, C. Diorio, and M. Thomas, "Design of ultra-low-cost UHF RFID tags for supply chain applications," *IEEE Communication Magazine*, Aug. 2004, pp. 140-151.
- [5] K. V. S. Rao, P. V. Nikitin, and S. F. Lam, "Antenna design for UHF RFID tags: a review and a practical application," *IEEE Tran. Antennas and Propagation*, vol. 53, no. 12, Dec. 2005.
- [6] S. Sankaran and K. O. Kenneth, "Schottky Barrier Diodes for Millimeter Wave Detection in a Foundry CMOS Process," *IEEE Electron Dev. Lett.*, vol. 26, no. 7, 2005.
- [7] G. D. Vita and G. Iannaccone, "Design criteria for the RF section of UHF and microwave passive RFID transponders", *IEEE Tran. Microwave Theory and Tech.*, Vo. 53, no. 9, Sept. pp. 2978-2990, 2005.
- [8] J.-P. Curty, N. Joehl, C. Dehollain, and M. J. Declercq, "Remotely powered addressable UHF RFID integrated system," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 40, no. 11, pp. 2193-2202, Nov. 2005.
- [9] J.-W. Lee, H. Kwon, and B. Lee, "Design Consideration of UHF RFID Tag for Increased Reading Range," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, 2006, pp. 1588-1591.
- [10] M. C. A. M. Koolen, J. A. M. Geelen, and M. P. J. G. Versleijen, "An improved de-embedding technique for on-wafer high-frequency characterization," in *Proc. IEEE Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting*, Sep. 1991, pp. 188-191.
- [11] J. F. Dickson, "On-chip high-voltage generation in MNOS integrated circuits using an improved voltage multiplier technique," *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol. 11, no. 3, Jun 1976, pp. 374-378.
- [12] F. Kocer and M. P. Flynn, "A new transponder architecture with on-chip ADC for long-range telemetry applications," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 41, no. 5, pp. 1142 - 1148, May 2006.
- [13] E. Bergeret, J. Gabert, P. Pannier, and P. Rizzo, "Power generation system for UHF passive RFID," *Electron Lett*, Dec. 2006, vol. 42. no. 25.
- [14] J.-P. Curty, N. Joehl, F. Krummenacher, C.

Dehollain, and M. J. Declercq, "A model for -power rectifier analysis and design," *IEEE Trans. Circuits Syst.-I*, vol. 52, no. 12, pp. 2771-2779, Dec. 2005.

- [15] T. Umeda, H. Yoshida, S. Sekine, Y. Fujita, T. Suzuki, and S. Otaka, "A 950-MHz rectifier circuit for sensor network tags with 10-m distance," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 41, no. 1, pp. 35 - 41, Jan. 2006.

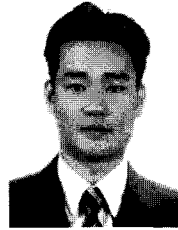
저 자 소 개



이 종 욱(정회원)  
 1997년 서울대학원 전기공학과  
 공학석사  
 2003년 Purdue University at  
 West Lafayette 공학박사  
 2004년 3월~2006년 2월  
 경희대학교 전자정보대학  
 전임강사

2006년 3월~현재 경희대학교 전자정보대학  
 조교수

<주관심분야 : RFID태그, RFIC설계, RF모델링>



트란 난(학생회원)  
 2004년 Ho Chi Minh City  
 University of Technology  
 학사  
 2005년 9월~현재 경희대학교  
 전자정보대학 석사과정

<주관심분야 : RFID태그, 아날로그 CMOS 회로  
 설계>