

폴리아미드 기판에 제작된 노트북용 플렉서블 투명 전극 안테나의 제작 및 분석

이창민¹, 김일권², 김용성¹, 김용진³, 정창원^{*}

¹서울과학기술대학교 NID융합기술대학원, ²서울과학기술대학교 신소재공학과, ³인하공업전문대학 전기정보과

Fabrication and analysis of flexible and transparent antenna on polyamide substrate for laptop computer

Changmin Lee¹, Ilkwon Kim², Youngsung Kim¹, Yongjin Kim³ and Changwon Jung^{1*}

¹Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology

²Department of Material Science & Engineering, Seoul National University of Science and Technology

³Department of Electrical Information, Inha Technical College

요약 본 논문은 현재 폭넓게 연구 되고 있는 투명하면서 유연성을 갖는 플렉서블 투명전극 어플리케이션 (플렉시블 디스플레이, 터치패널, 투명 전자신문, 모바일 기기 등)에 사용 될 수 있는 안테나 설계에 관한 것이다. 안테나는 PIFA(Planar Inverted F-shaped Antenna) 구조의 노트북용 안테나로 플렉서블 (Flexible)한 폴리아미드 (Polyamide)기판위에 제작 되었으며, 안테나 전극은 IZTO/Ag/IZTO의 3층 투명 전극을 이용하여 우수한 전기적, 광학적 특성을 나타내면서 높은 유연성을 가진다. 또한 본 논문에서는 두 가지 전극 (IZTO/Ag/IZTO 3층전극, Ag 단층전극)에 따른 투명도 및 안테나 성능을 비교를 하였다. 안테나의 공진주파수는 WLAN (802.11a)의 5.18 ~ 5.32 GHz대역이며, 성능 측정 결과 최대 89 %의 효율과 5.86 dBi의 성능을 갖는다.

Abstract : This paper presents an antenna design that can be applied to flexible transparent conducting film. The antennas shaping PIFA (Planar Inverted F-shpae Antenna) were produced on polyamide substrates, which are flexible. The IZTO/Ag/IZTO multilayer films were used for the antennas and exhibited superior electrical, optical and flexible characteristics. This study compared the transparency and performance of two antennas (IZTO/Ag/IZTO multilayer film, and Ag monolayer film). The operation frequencies were set to 5.18~5.32 GHz of WLAN (802.11a). The performance showed a maximum efficiency and peak gain of 89 % and 5.86 dBi, respectively.

Key Word : Flexible antenna, Transparent antenna, Laptop computer, IZTO/Ag/IZTO, Polyamide

1. 서론

최근 투명전극 디스플레이의 개발로 인해 휴대폰, 태블릿 등 무선 통신 전자기기의 발달과 구매자들의 수요가 증가하고 있으며, 또한 휘어지는 디스플레이를 통해 휴대폰 및 텔레비전이 개발되면서 디스플레이의 전기적 특성뿐만 아니라 유연한 특성도 이슈가 되었다. 이러한 투명전극의 우수한 전기적, 광학적 특성으로 인하여 디

스플레이 뿐만 아니라 안테나와 같은 무선 RF 부품에도 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 그 중 가장 핵심이 되는 투명전자 소자 (Transparent Conducting Oxide, TCO)의 개발은 박막증착 기술의 발전으로 이루어졌으며 현재 Indium Zinc Oxide(IZO), Indium Tin Oxide(ITO), Indium Zinc Tin Oxide(IZTO) 등의 투명전자 소자들이 대표적으로 쓰이며 이 중에서 IZTO 필름은 가장최근에 제안되었다. IZTO 필름은 상온과 같은 공정

이 연구는 미래창조과학부 신진후속연구 과제 (No. 2013R1A1A1A05006118)의 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Changwon Jung(Seoul National Univ. of Science and Technology)

Tel: +82-10-9969-4078 email: changwoj@snut.ac.kr

Received April 8, 2014

Revised (1st May 8, 2014, 2nd May 28, 2014)

Accepted July 10, 2014

온도에서 낮은 저항, 높은 투과성을 확보할 수 있는 장점을 가지고 있다[2]. 이러한 장점은 ITO의 화학적 불안정, 낮은 투과성, 유기 층에서 산화 및 300 °C 이상의 고온공정과 같은 단점 및 IZO의 비용 및 공정상의 문제점 등을 극복할 수 있다[3]. 또한 최근에는 IZTO 필름을 응용하여, IZTO/Ag /IZTO 3층 구조의 전극을 통해 유연성과 투과성을 가진 Organic Light Emitting Diode(OLED)가 만들어진 사례도 있다[4].

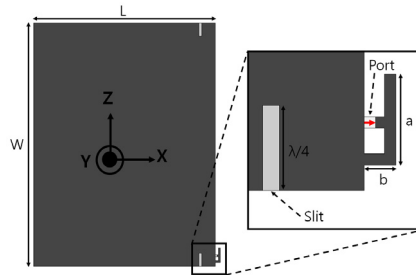
본 논문에서는 PIFA안테나를 투명하고 플렉서블한 Polyamide기판 위에 IZTO/Ag/IZTO 3층 의 투명전극을 이용하여 노트북안테나를 설계 제작 측정 하였다. 본 안테나의 전극은 투명전극(IZTO/Ag/IZTO) 으로 제작하여 우수한 광학적, 전기적 성질을 따면서 또한 Polyamide기판 상에 제작되어 높은 유연성을 갖는다. 본 안테나는 향후 유연성을 가지며 투명소자가 필요한 다양한 응용분야 (플렉시블 디스플레이, 터치패널, 투명 전자신문, 모바일 기기 등)에 적용이 가능할 것이라 예상된다.

2. 노트북용 유연성 투명전극 안테나 설계

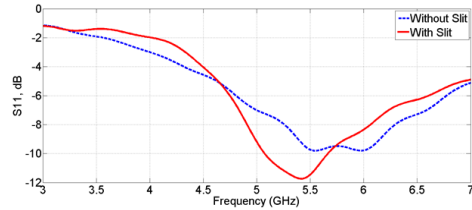
2.1 노트북용 안테나 구성 및 설계

노트북용 유연성 투명전극 안테나의 길이 및 구성은 다음과 같다. 길이와 폭이 각각 $L = 202 \text{ mm}$, $W = 270 \text{ mm}$ 인 13인치 동판에 $a = 16 \text{ mm}$, $b = 5.6 \text{ mm}$ 사이즈의 PIFA(Planar Inverted F-shape Antenna) 안테나가 들어간다.

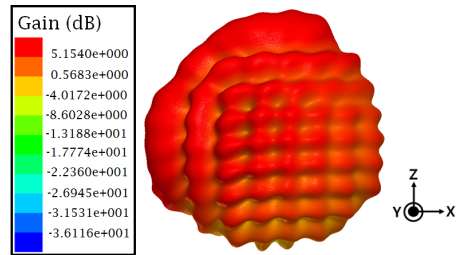
Fig. 1은 유연성 투명전극 안테나를 노트북 디스플레이에 적용시켜 최적화 된 안테나 위치에서의 그림을 보여준다. Fig. 2와 Fig. 3은 각각 Fig. 1에 보여지는 노트북용 투명전극 안테나의 반사 손실과 방사 패턴을 나타낸다. Fig. 2는 노트북용 투명 전극 안테나 시뮬레이션의 반사계수를 보여준다. 슬릿이 없을 경우 중심주파수는 5.5 GHz이고, 반사계수는 -10.5 dB이다. 슬릿이 있을 경우 반사계수는 5.42 GHz에서 -11.8 dB이다. 또한 Fig. 3은 슬릿이 없을 경우의 안테나 시뮬레이션 결과의 방사패턴을 보여준다. 최대이득은 5.15 dBi 이며, 안테나에 비해 상대적으로 큰 그라운드 의 긴 표면전류에 의해 안테나 방사패턴에 리플이 나타난다. 본 안테나 시뮬레이션에 대한 소프트웨어로 HFSS(v12.1)을 사용하였다.



[Fig. 1] The antenna geometry



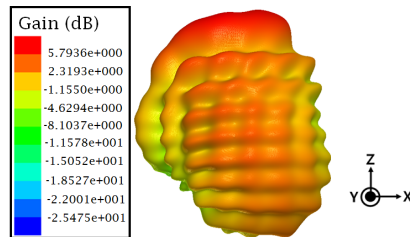
[Fig. 2] (S11) of laptop antenna simulation result



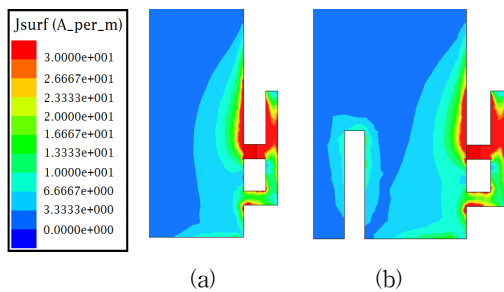
[Fig. 3] Radiation pattern of laptop antenna simulation result

2.2 $\lambda/4$ 슬릿을 이용한 그라운드 효과의 개선

노트북의 경우 안테나의 전기적인 크기에 비해 그라운드의 전기적인 크기가 상대적으로 클 경우, 안테나의 방사가 그라운드 쪽으로 치우치는 경향을 보인다.



[Fig. 4] Simulated radiation pattern of laptop antenna with slit



[Fig. 5] Simulation result of current distributions (a)Without slit (b)With slit

이러한 경향성을 그라운드 효과(Ground Effect)라고 한다[5]. 이러한 그라운드 효과를 줄이기 위해서 기판에 슬릿을 내는 방법들이 제안되었다[6,7]. 본 논문에서는 Fig. 1에서와 같이 $\lambda/4$ 슬릿(slit)을 사용하는 방법을 이용하였다.

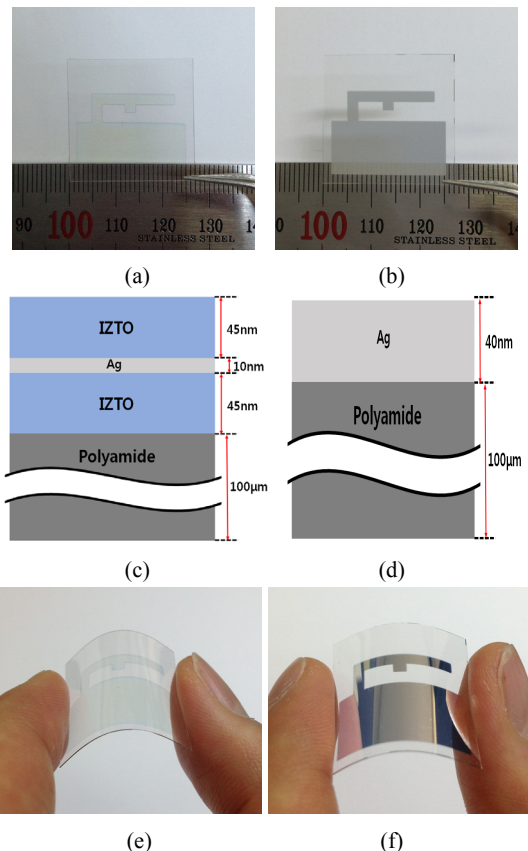
Fig. 4는 위에서 언급한 $\lambda/4$ 슬릿을 갖는 노트북안테나의 방사패턴이다. 안테나의 방사패턴은 슬릿을 사용하지 않은 Fig. 3과 비교 시 방사패턴이 그라운드 방향(-X)으로 치우치는 것이 개선되었다. 최대이득은 5.79 dB이며, 0.64 dB 증가 되었다. 또한 Fig. 5와 같이 전류분포 시뮬레이션을 이용하여 슬릿이 있을 때와 없을 때의 안테나의 전류 분포도를 비교하였다. Fig. 5의 (a)와 비교 시 (b)에서는 전류분포가 슬릿 부분에 모여 있어 그라운드 방향으로 가는 전류가 약해지며, 슬릿이 없을 때에 비해 그라운드로 향하는 방사가 줄어드는 것을 볼 수 있다.

3. 안테나 제작

본 논문에서는 안테나 제작을 위하여 IZTO /Ag/IZTO 다층 투명박막을 두 대의 스퍼터링 박막증착장비를 이용하여 IZTO (In₂O₃: 70 wt%, ZnO: 10 wt%, SnO₂: 20 wt%) 조성의 세라믹 박막 층과 Ag(순도 5N이상) 금속 박막 층을 각각 분리하여 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 증착하였다. 증착 층은 IZTO (45 nm) / Ag (10 nm) / IZTO (45 nm)로 투명한 PI(polyamide) 기판 위에 증착하였다. 증착 시 세라믹 층은 초기진공도 8×10^{-7} torr, 증착압력 6 mtorr, 증착시 온도는 상온으로 증착하였으며, 금속 층은 초기진공도 5×10^{-6} torr, 증착압력 5 mtorr, 증착시 온도는 상온으로 증착하였다. 이들에 대한 투명안테나 적용을 위한 박막의 전기 및 광학적특성은

사전 예비실험 및 광학설계를 통하여 최적화 두께를 설정하였다[4]. IZTO/Ag/IZTO 다층 투명박막의 전기적특성의 평가는 Hall effect measurement (Ecopia HMS 3000)를 사용하여 전하운반자 밀도, 전기비저항, 면저항, 전하이동도 등을 측정하였다. 그리고 광학적특성은 UV-visible spectrometer (Sinco S-3100)로 가시광 영역대에서 광학투과도를 측정하였다.

피파 안테나의 제작은 300 마이크로미터 두께의 스테인레스 플레이트에 컴퓨터시뮬레이션으로 설계된 구조로 식각공정을 통해 각각의 웨도우마스크를 제작하여 투명안테나의 증착시 사용하였다.



[Fig. 6] The fabricated flexible, transparent antenna (a) flexible antenna (IZTO/Ag/IZTO) (b) flexible antenna (Ag) (c) structure of IZTO/Ag/IZTO (d) structure of Ag (e) bended flexible antenna (IZTO/Ag/IZTO) (f) bended flexible antenna (Ag)

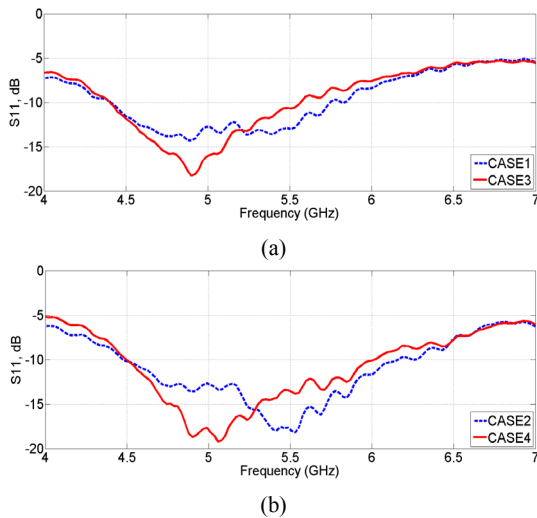
4. 안테나 측정 결과

[Table 1] The antenna geometry

Category	Antenna Type	Transparent Material
case1	Antenna without slit	IZTO/Ag/IZTO
case2	Antenna without slit	Ag
case3	Antenna with slit	IZTO/Ag/IZTO
case4	Antenna with slit	Ag

Table 1은 제작된 네 가지 안테나(CASE1, CASE2, CASE3, CASE4)의 자세한 형상을 나타낸다. 실제 제작된 투명전극 안테나의 두께는 IZTO/Ag/IZTO 3층 전극의 경우 IZTO 45 nm, Ag 10 nm이고, Ag 단층 전극은 40 nm의 두께를 갖는다.

다음은 각 안테나에 대한 반사손실 (S11)과 측정결과 값을 Fig. 7과 Table 2에 나타내었다.



[Fig. 7] measured result of reflection coefficient of antenna

- (a) (IZTO/Ag/IZTO) CASE1, CASE3
- (b) (Ag) CASE2, CASE4

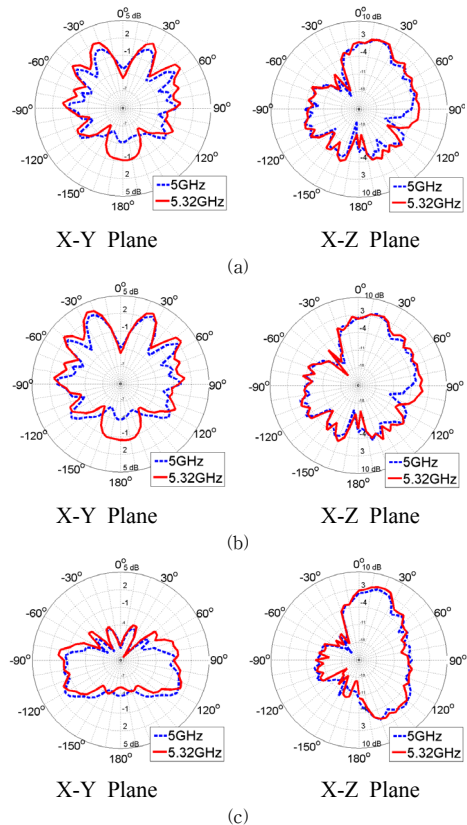
[Table 2] The measured efficiency and peak gain of the antenna

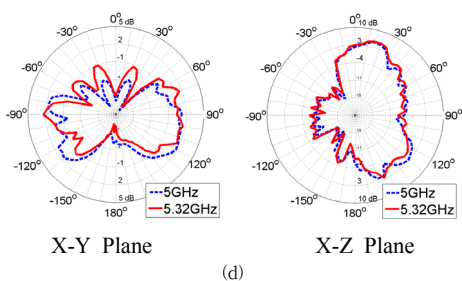
Category	Frequency (GHz)	Efficiency (%)	Peak gain (dBi)
CASE1	5	61.23	4.15
	5.32	71.16	4.88
CASE2	5	76.35	4.54
	5.32	89.33	5.33
CASE3	5	59.62	4.61
	5.32	68.70	5.44
CASE4	5	82.82	5.23
	5.32	84.44	5.86

Fig. 7에서와 같이, 슬릿이 있는 경우는 중심주파수 5 GHz에서 공진하지만, 슬릿이 없는 경우에는 중심주파수 5.5 GHz에서 공진한다. 슬릿이 없는 CASE1의 경우는 중심주파수 5 GHz에서 -18.7 dB의 반사계수 값을 보이며, 슬릿이 있는 CASE3의 경우는 중심주파수 5.32 GHz에서 -19.1 dB의 반사계수 값을 보였다.

Table 2는 안테나의 각 케이스별 중심주파수 5 GHz와 5.32 GHz에서의 효율 및 최대이득 값을 보인다. CASE1과 CASE2의 Ag두께 차이는 30 nm이며, 마찬가지로 CASE3과 CASE4의 Ag두께 차이도 30 nm이다. 이러한 두께 차이로 인해 CASE1과 CASE3에 비해 CASE2와 CASE4의 효율이 각각 10-20 % 높다. 또한, CASE1과 CASE3에 비해 CASE2와 CASE4의 이득이 약 1 dB 높다.

Fig 8은 측정된 안테나의 중심주파수 5 GHz와 5.32 GHz의 방사패턴이다. X-Y평면 ($\theta = 90^\circ$)에서 슬릿이 없는 CASE1과 CASE2에 비해 CASE3와 CASE4는 그라운드 효과가 줄어들었음을 명확하게 볼 수 있다. 또한 X-Z 평면 ($\phi = 0^\circ$)평면에서도 그라운드로 향하는 방사가 약 해짐을 확인할 수 있다.





[Fig. 8] Radiation pattern of laptop antenna measurement result
(a) CASE1 (b) CASE2 (c) CASE3 (d) CASE4

5. 결론

본 논문에서는 DC 마트네트론 스퍼터링법을 이용하여 제작된 IZTO/Ag/IZTO 3층전극과 Ag 단층전극을 이용하여 PIFA 구조의 안테나를 13인치 노트북용 안테나에 적용하였고 성능검증을 진행 하였다. 안테나의 동작주파수는 WLAN 11 b의 5 GHz 대역이며, 광 투과도는 86 %을 유지 하면서 최대 89 %의 효율과 5.33 dB의 충분한 이득을 갖는다. 노트북 안테나의 경우 $\lambda/4$ 길이의 이중 슬릿을 내어 안테나의 방사가 그라운드 쪽으로 향하는 현상을 줄일 수 있었다. 또한 IZTO/Ag/IZTO 3층 전극은 우수한 전기적, 광학적 특성을 가지면서 동시에 높은 유연성을 갖는다. 이러한 장점은 향후 휘어지는 디스플레이 및 다양한 형태의 무선전자기기 등에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] F. Colombel, X. Castel, M. Himdi, G. Legeay, S. Vigneron and E. Motta Cruz, "Ultrathin metal layer, ITO film and ITO/Cu/ITO multilayer towards transparent antenna", *IET Science, Measurement and Technology*, Volume 3 Issue 3, pp. 229-234, September 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/iet-smt:20080060>

[2] D. J. Son, Y. D. Ko, D. G. Jung, J. H. Boo, S. H. Choa, and Y. S. Kim, "Thermal Effect on characteristics of IZTO Thin Films Deposited by Pulsed DC Magnetron Sputtering", *Bull. Korean Chem Soc*, Volume 32 No 3, pp. 847-851, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5012/bkcs.2011.32.3.847>

[3] J. W. Kang, W. I. Jeong, J. J. Kim, H. K. Kim, D. G. Kim,

and G. H. Lee, "High Performance Flexible Organic Light-Emitting Diode Using Amorphous Indium Zinc Oxide Anode", *Electrochemical and Solid-State Letters*, Volume 10 Issue 6, pp. J75-J78, March 2007.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1149/1.2720635>

[4] K. H. Choi, H. J. Nam, J. A. Jeong, S. W. Cho, H. K. Kim, J. W. Kang, D. G. Kim, and W. J. Cho, "Highly flexible and transparent InZnSnOx/Ag/InZnSnOx multilayer electrode for flexible organic light emitting diodes", *Applied Physics Letters*, Volume 92, No. 223302, June. 2008.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2937845>

[5] K. L. Wong, W. J. Chen, T. and W. Kang, "Small-Size Loop Antenna With a Parasitic Shorted Strip Monopole for Internal WWAN Notebook Computer Antenna", *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 59, No. 5, pp.1733-1738, May, 2011.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.2011.2122298>

[6] K. L. Wong, W. J. Chen, L. C. Chou, and M. R. Hsu "Bandwidth Enhancement of the Small-Size Internal Laptop Computer Antenna Using a Parasitic Open Slot for Penta-Band WWAN Operation", *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 58, No. 10, pp.3431-3435, October, 2010.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.2010.2055815>

[7] C. T. Lee and K. L. Wong "Internal WWAN Clamshell Mobile Phone Antenna Using a Current Trap for Reduced Ground Plane Effects", *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 57, No. 10, pp.3303-3308, October, 2009.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.2009.2029612>

이 창 민(Chang Min Lee)

[준회원]



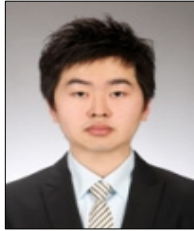
- 2014년 2월 : 강릉원주대학교 전자공학과 (공학사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 NID융합기술 대학원 석사과정

<관심분야>

안테나

김 일 권(II Kwon Kim)

[준회원]



- 2014년 3월 : 서울과학기술대학교
신소재공학과 (재학중)

<관심분야>
전자신소재

정 창 원(Changwon Jung)

[정회원]



- 2001년 12월 : University of
Southern California, 전자공학 (석
사)
- 2005년 6월 : University of
California, Irvine, 전자공학 (박사)
- 1997년 1월 ~ 2000년 6월 : LG
정보통신, 연구원
- 2005년 7월 ~ 2005년 10월 :
University of California, Irvine,
Post Doctor
- 2005년 11월 ~ 2008년 4월 : 삼성종합기술원, 전문연구원
- 2008년 5월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교, NID 융합기술
대학원, 교수

<관심분야>
안테나, RF, EMI/EMC, RF-MEMS, 센서

김 용 성(Young Sung Kim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 성균관대학교 금속재
료공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 2000년 3월 : 일본
Tohoku Uni. 및 NRIM 근무
- 2000년 3월 ~ 2010년 2월 : 성균
관대학교 연구교수
- 2010년 3월 ~ 현재 : 서울과학기
술대학교 NID융합기술대학원 교수

<관심분야>
나노 IT융합기술 및 전자신소재

김 용 진(Yong jin Kim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 오하이오주립대학교
전기공학과 (공학석사)
- 2003년 6월 : 오하이오주립대학교
전기공학과 (공학박사)
- 2003년 7월 ~ 2007년 3월 : 삼성
종합기술원 전문연구원
- 2007년 3월 ~ 현재 : 인하공업전
문대학 전기정보과 조교수

<관심분야>
RF, 소형 안테나, 지향성 안테나, 최적화 알고리즘