

IZTO/Ag/IZTO 다층 투명전극을 이용한 안경용 웨어러블 안테나

홍승만¹, 김용성¹, 정창원^{1*}

¹서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 나노IT융합프로그램

Glass Antenna Using Transparent IZTO/Ag/IZTO Multilayer Electrode

Seungman Hong¹, Youngsung Kim¹, Chang Won Jung^{1*}

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

요약 통신의 흐름은 빠르게 변하고 있으며, 최근에는 스마트 안경과 스마트 시계와 같은 인간의 삶을 윤택하게 하는 다채로운 웨어러블(Wearable) 기기들이 출현하고 있다. 웨어러블 기기에는 필수적으로 통신을 지원하는 안테나가 설치되어야 한다. 본 논문은 스마트 안경에 적용할 수 있으며 투명한 소재로 제작하여 광 투과성이 우수한 특성을 지닌 웨어러블 안테나에 관하여 연구한 논문이다. 투명한 안테나는 차기 웨어러블 기기인 스마트 유리에도 적용이 가능하며, 투명한 장점을 활용하여 시야를 가리지 않으면서 통신을 지원할 수 있는 장점이 있다. IZTO/Ag/IZTO(IAI) 다층구조의 투명전극 박막은 단일구조의 박막보다 전기전도도가 높으며 광 투과성이 우수하다. 이러한 다층구조의 투명전극 박막을 활용하여 제작한 안테나는 우수한 전기전도도로 인하여 안테나로 활용이 가능하다. 본 논문에서는 다층구조의 투명전극 박막을 활용하여 투명한 소자가 적용 가능한 깨끗한 안경렌즈에 부착하여 안테나의 성능을 측정하였다. 안테나는 여러 기판 위에 올려진 것을 가정하여 시뮬레이션 되었으며, 안테나의 폭과 길이를 적절히 활용하여 안테나의 임피던스를 매칭하였다. 제작한 안테나의 전기전도도와 투명도는 각각 홀 효과 측정기(HMS-3000)과 광 투과율 측정기(UV-Spectrometer)로 측정하였으며, 안테나의 성능을 비교하기 위하여 은(Ag)을 40 nm 두께로 증착한 안테나를 대조군으로 사용하였다. 제작한 안테나는 일반 웨어러블 안경에서 지원하는 Wi-fi 통신 대역인 주파수 2.4~2.5GHz 범위에서 사용가능하며, 최대 이득 2.89 dBi, 효율 34%의 성능을 보인다.

Abstract Communication flow is changing rapidly. Recently, a range of wearable devices such as wearable glasses and wearable watch, have been launched. These kinds of wearable devices help people to live a more comfortable life. Wearable devices most have an antenna for wireless communication. This paper reports a transparent antenna that is made of an optically transparent material for wearable glasses. Transparent antenna can be applied to smart windows and will not disturb the view of user. IZTO/Ag/IZTO multilayer electrode has higher electrical and optical properties. This antenna is available because of its good electrical properties. This study measured the performance of the proposed transparent antenna, which is made of a multilayer electrode, applied to a lens. The proposed antenna was simulated with several substrates. The antenna impedance was matched with length and width of the antenna. The antenna's conductivity and transparency was measured using a HMS-3000 and UV-spectrometer. A 40nm thick Ag single layer antenna was fabricated on a flexible polyimide substrate for comparing the antenna performances. The fabricated antenna is useable at a frequency of 2.4-2.5GHz, which is suitable for Wifi communications and has peak gain of 2.89dBi and an efficiency of 34%.

Keywords : TCO, Transparent antenna

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Chang-Won Jung(SNUT)

Tel: +82-2-970-9957 email: changwoj@seoultech.ac.kr

Received November 3, 2015

Revised (1st December 2, 2015, 2nd December 7, 2015)

Accepted February 4, 2016

Published February 29, 2016

1. 서론

유비쿼터스 무선 환경 시스템은 컴퓨터 기술의 발전과 함께 주변에서 쉽게 접할 수 있는 환경이 되었다. 이와 함께 두 가지 종류의 웨어러블 디바이스(Wearable Device)들이 출현하였다[1]. 하나는 액세서리형(Accessory) 디바이스[2]로 스마트 시계, 스마트 목걸이, 스마트 안경 등이 대표적이며, 다른 하나로는 부착형(Attachable) 디바이스로 스마트 스킨[3]이나 스마트 렌즈가 대표적이다.

새로운 웨어러블기기의 흐름에 따라 최근 구글글래스와 함께 애플워치가 출시되어 많은 사회적 이슈를 몰고 왔다. 이러한 흐름으로 미루어 스마트 안경과 스마트 시계는 새로운 종류의 웨어러블 디바이스로 중요한 역할을 하게 될 것으로 전망된다.

스마트 시계와 안경은 무선통신을 지원한다. 투명 안테나는 이러한 기기들의 디스플레이나 유리 같은 투명한 부위에 부착되어 무선통신을 지원할 수 있다. 이와 같은 기술 확보로 기존 안테나가 들어갔던 위치에 대한 공간 확보가 가능하며, 더 나아가 투명안테나는 스마트 유리와 같은 완전 투명한 제품들을 만드는 데 적용 할 수 있다. 이러한 이유들로 투명 안테나는 지속적으로 꾸준히 연구가 되었다[4]-[8].

초기 투명안테나는 자동차와 핸드폰 통신용으로 제작된 바가 있다. 한국에서는 KAIST에서 개발한 차체 유리 실장형 투명 안테나가 제작되어 뉴스로 보도된 바 있다 [4]. 이보다 먼저 세계 최초의 투명 안테나가 개발되어 사용된 것은 통신용 패치안테나로서, 이에 대한 특허 역시 제출된 바가 있다[5][6]. 이와 함께 투명안테나는 계속해서 개발되어 최근에는 AgHT-8 투명 고분자 화합물을 이용한 투명 UWB(Ultra Wide Band) 안테나까지 개발되었다[7]. 하지만 AgHT-8 소자의 경우 전기전도도가 낮아 효율이 낮았다.

투명전극은 디스플레이 산업에서 투명하고 깨끗한 디스플레이를 만드는 데 가장 많이 사용되는 물질이다. 일반적으로 투명전극의 전기전도도와 투명도는 반비례 관계에 있으며, 이를 적절히 조정하여 최적화된 디스플레이를 생산한다. 투명전극으로서 가장 많이 상용화된 Indium Tin Oxide(ITO)의 경우 깨지기 쉬우며 연약하다는 단점이 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 ITO 대신 Indium Zinc Tin Oxide(IZTO)를 활용하였다.

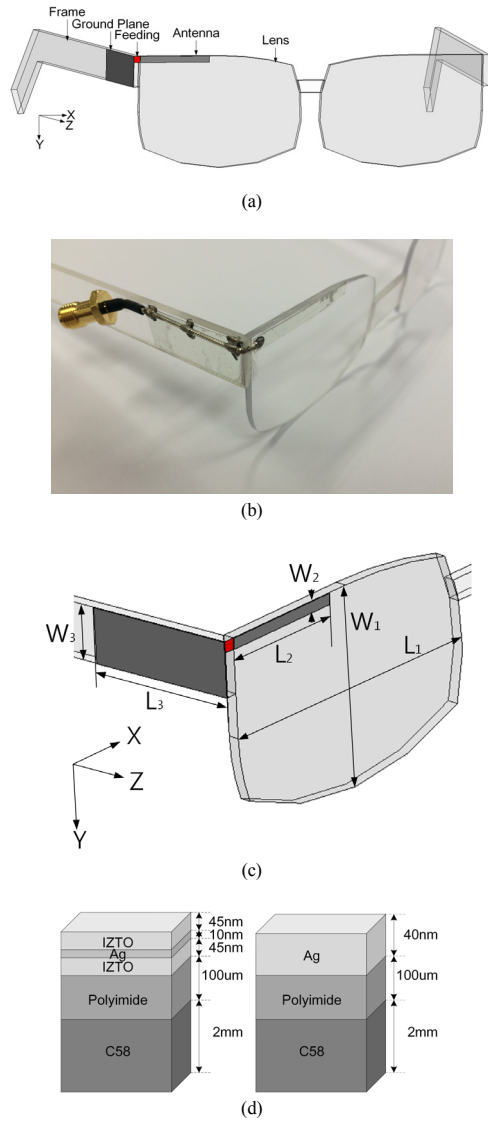


Fig. 1. Antenna design and dimension. (a) Proposed antenna. (b) Fabricated antenna. (c) Antenna Dimension. (d) Antenna structure.

IZTO는 유연한 소재의 산화물로, ITO보다 충격에 대한 내성이 강하며 심지어 구부러지더라도 유연하게 휘어지는 것이 가능하다. 이와 함께 IZTO의 전기전도도를 개선하기 위하여 IZTO/Ag/IZTO(IAI)의 다층구조 투명박막을 채택하여 활용하였다. IZTO층 사이의 Ag층이 10nm의 두께로 들어가게 될 경우 투명전극은 투명도를 가지며, 이는 가시광 영역에서 평균 80% 이상의 투과도를 보인다. 이러한 다층구조의 투명전극의 경우 단일구

Table 1. Standard Antenna Length on Substrate.

Materials	Substrate	Antenna Length (mm)	S11 (dB)	Resonance Frequency (GHz)
PEC	None	25.5	-16.6	2.45
	Acrylic	26.4	-15.4	2.45
Ag	C58	22.4	-24.7	2.45
	None	26.0	-16.5	2.45
	Acrylic	26.5	-15.4	2.46
	C58	22.5	-24.7	2.45
IAI	None	25.2	-9.4	2.45
	Acrylic	25.8	-9.0	2.46
	C58	20.7	-11.7	2.45

Table 2. Simulated Antenna Length with Materials.

Antenna Design	Materials	Antenna Length (mm)	S11 (dB)	Resonance Frequency (GHz)
Type A	PEC	24.8	-15.7	2.45
	Ag	24.8	-15.7	2.45
	IAI	23.4	-13.4	2.45

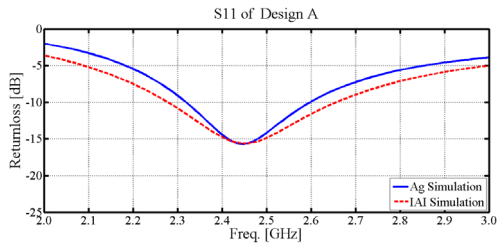


Fig. 2. Simulated S11 of proposed antenna made of Ag and IAI.

조의 IZTO 보다 약 20배에 가깝게 전기전도도가 개선된다. 이러한 다층구조의 투명전극의 경우 투명안테나로 활용된 사례가 있다[8]. 위성 안테나로서 Saberini 안테나로 적용하였으며, ITO/Cu/ITO의 다층전극 구조로 만들었다.

본 연구에서 우리는 안테나를 시뮬레이션하여 제작하고 측정하였다. 안테나는 IAI의 다층구조로 제작하였으며, 안테나의 성능을 비교하기 위하여 적절한 전기 전도도를 가진 40 nm 두께의 은(Ag)

안테나를 대조군으로 활용하였다. 안테나의 방사패턴을 고려하여 안테나는 세 가지 디자인으로 결정하였으며, 제작한 안테나의 성능, 이득, 반사계수를 비교하였다. 시뮬레이션 작업은 ANSOFT사의 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 사용하였다.

2. 투명전극을 이용한 안경 부착형 안테나 설계

2.1 안테나 설계

Fig. 1은 안테나의 제안도를 보여준다. Fig. 1 (a)는 안경부착형 안테나의 모습이다. 제작된 안테나의 사진은 Fig. 1 (b)에 도시하였다. Fig. 1 (c)는 안테나의 정확한 크기를 표시한다. Fig. 1 (d)는 테나의 구조이다. 안테나

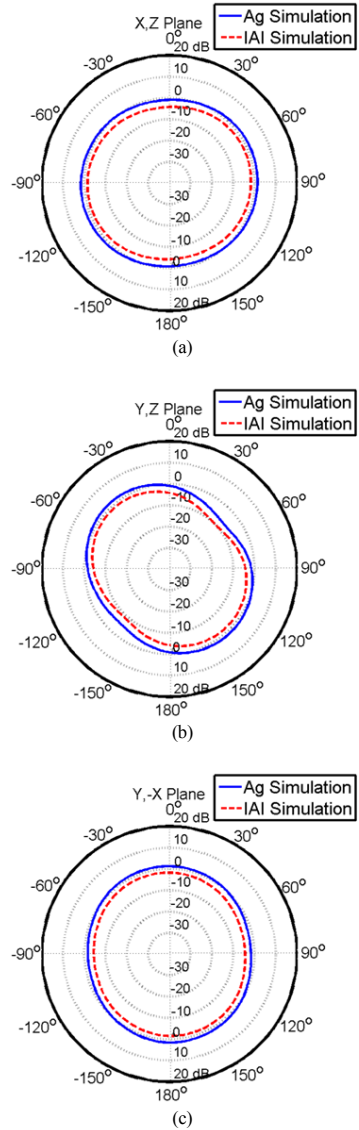


Fig. 3. Simulated radiation pattern of proposed antenna made of Ag and IAI. (a)XZ plane. (b)YZ plane. (c) XY plane

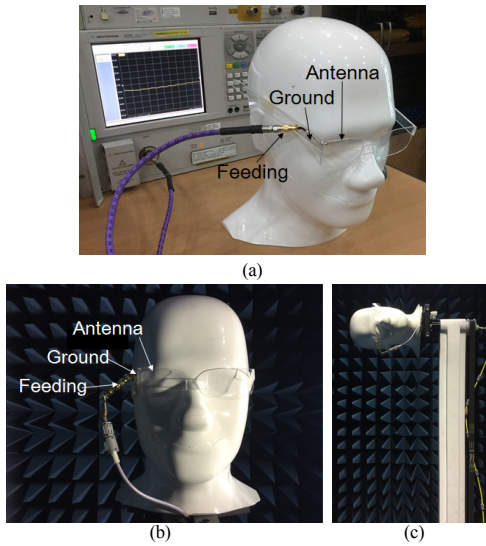


Fig. 4. Measurement of the antenna (a) Return loss measurement of the antenna. (b) Radiation pattern measurement of the antenna. (c) Side view of the radiation pattern measurement.

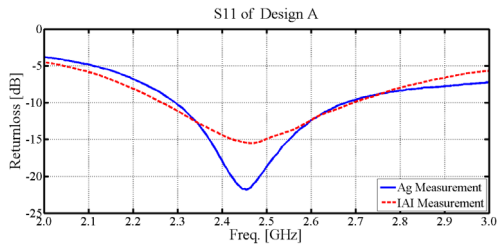


Fig. 5. Measured S11 of proposed antenna made of Ag and IAI.

Table 3. Measured result of proposed antenna

Performances	Value
Peak gain (dBi)	2.89
Efficiency (%)	34.79
Return loss (dB)	-14.20
Resonance frequency (GHz)	2.47

는 IZTO/Ag/IZTO의 다층전극 구조와 Ag 단일구조의 두 가지로 제작을 하였다. 안테나 안의 길이는 2.4-2.5GHz 대역의 주파수에 공진점을 맞추도록 결정되었다. 안테나 렌즈의 크기는 $L1 \times W1 = 54 \text{ mm} \times 36 \text{ mm}$ 이며, 안테나의 그라운드 크기는 $W3 \times L3 = 10$

$\text{mm} \times 27 \text{ mm}$ 이다. 안테나의 크기는 $W2 \times L2 = 2 \text{ mm} \times 23.4 \text{ mm}$ 이다. 안경렌즈의 크기는 Google Glass의 등록 제원 중 Thin 모델의 렌즈 사이즈를 따랐으며, 그라운드의 크기는 Google Glass의 FCC 등록 제원을 따라 결정하였다. 안경렌즈는 한국에서 상용으로 많이 사용되는 C58 LENS를 사용하였다.

2.2 제작 과정

안테나는 다층 구조의 투명전극으로 제작되었다. 논문에서는 Fig.1 (d)에서 도시한 것처럼, IZTO/Ag/IZTO의 다층구조의 투명전극필름으로 안테나의 방사체 부분과 그라운드를 제작하였다. 제조 공정은 $5 \times 10^{-7} \text{ Torr}$ 이하의 초기 조건하에서 아르곤 5 mTorr와 3%의 산소분압의 진공조건을 유지하여 증착하였으며, 제작된 투명전극은 폴리이미드(Polyimide) 기판 위에 증착하여 안경렌즈에 투명 접착제를 활용하여 부착하였으며, 제작된 안테나의 빛에 대한 투과율은 가시광 대역(광파장 380 nm - 750nm)에서 평균 80%의 투과율을 보였다. 투과율은 UV-Spectrometer로 측정하였으며, 제작된 투명안테나는 Fig.1 (b)에서 확인할 수 있다.

2.3 설계 시뮬레이션

Table. 1은 기본적인 공진주파수에 맞춘 안테나의 길이 시뮬레이션 결과를 표로 요약하였다. PEC(Perfect Conductor), Ag(Silver), IAI의 세가지 물질을 각각의 다른 기판 위에서 시뮬레이션 한 결과 안테나의 길이는 다음과 같이 변화하였다. 이는 기판의 유전율과 안테나의 물질 특성인 유전율과 투자율에 따른 결과이다.

Table. 2는 세 가지 물질(PEC, Ag, IAI)로 시뮬레이션한 안테나의 반사계수(S11)와 길이, 공진주파수를 보여준다. 이를 통하여 비교하여보면 PEC와 Ag의 경우 차이가 미비한 것을 확인할 수 있다. IAI의 경우 안테나의 길이가 짧아지고 반사계수 역시 더 큰 값을 가짐을 알 수 있었다. 이는 IAI물질이 본래 가지고 있는 물질의 전도도(Conductivity)때문인 것으로 보인다.

각각의 안테나에 대한 반사손실 값은 Fig. 2에 도시하였다. 주파수 2.45 GHz에서 반사손실은 안테나 Type A의 경우 각각 Ag가 -15.7 dB, IAI가 -13.4 dB를 보였으며 Type B의 경우에는 Ag가 -18 dB, IAI가 -14 dB를 보였고 Type C의 경우에는 Ag가 -15dB, IAI가 -9 dB의 값을 보였다. 시뮬레이션은 Ansoft사의 HFSS

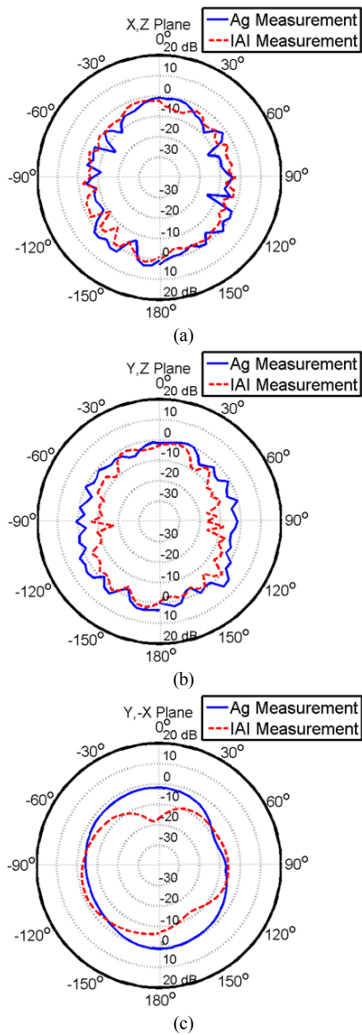


Fig. 6. Measured radiation pattern of proposed antenna made of Ag and IAI. (a)XZ plane. (b)YZ plane. (c) XY plane

v12.1로 실행되었다.

X-Z, Y-Z, X-Y plane에서의 안테나의 방사패턴에 대한 시뮬레이션 결과는 Fig. 3에 도시하였다. 방사패턴은 설계한 대로 전형적인 모노폴 안테나의 방사패턴의 값을 가진다.

3. 안테나 측정 결과

제작된 안테나의 반사계수와 방사패턴 측정사진은 Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)에 도시하였다. 방사패턴의 측면도

는 Fig. 4(c)에 도시하였다. 안테나의 측정을 위하여 Ag 40nm두께의 안테나가 대조군으로 사용되었으며 총 2종류의 안테나가 제작 및 측정되었다. 측정된 안테나의 반사계수 결과는 Fig. 5에 도시하였다. 측정결과 Ag 안테나의 경우 Return Loss 값이 22 dB까지 떨어졌으며, IAI 안테나의 경우 시뮬레이션과 마찬가지로 15 dB정도의 값을 가지는 것으로 파악되었다. 시뮬레이션과 측정 결과 모두 Ag와 IAI의 경우 비슷한 경향성을 지닌다.

안테나의 방사패턴 측정 결과는 Fig. 6에 도시하였다. 방사패턴 측정결과에 대하여 좌측은 XZ평면, YZ평면, XY평면으로 나타내었다. 시뮬레이션과 비교하여 안테나의 방사패턴은 도넛 모양의 방사패턴을 가지며, 빔은 유사한 형태로 방사됨을 확인 할 수 있다.

안테나의 측정결과는 한 눈에 볼 수 있도록 표3으로 정리하였다. 본 측정결과에 따르면 웨어러블 기기에 적용이 되는 투명안테나에 적용되어 사용되어질 수 있는 가능성이 충분히 있으며, 임피던스 매칭, 안테나의 전기전도도 개선을 통한 물질의 특성 조율을 통하여 더 나은 안테나의 성능과 효율을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 논문에서는 투명전극 박막 증착기술을 이용하여 폴리이미드(Polyimide)기판 위에 다층구조로 증착한 IZTO/Ag/IZTO 투명전극 안테나를 안경렌즈에 적용하여 제작하여 측정하였다. 안테나의 동작 범위는 2.4-2.5 GHz 대역으로 Wi-fi 무선통신대역을 만족하며, 이는 웨어러블 글래스로 상용화를 이룬 구글글래스의 통신제원과 일치한다. 제작한 안테나는 우수한 광학적 특성 및 전기적 특성을 지녔으며, 안경렌즈의 굴곡진 면에 부착이 가능한 유연성까지 지니고 있다. 측정된 세 종류의 안테나는 최대 34%의 효율을 가지며 2.89 dB의 최대 이득을 갖는다.

본 논문에서 소개된 투명전극을 활용한 안경부착형 안테나는 우수한 전기적, 광학적 특성을 지니기 때문에 스마트 유리와 같은 전방향 투명 제품에 적용 가능성이 클 것으로 예상된다.

References

[1] F. Viani, M. Salucci, F. Robol and A. Massa, "Multiband fractal Zigbee/WLAN antenna for ubiquitous wireless environments," Journal of Electromagnetic Waves and Applications, vol. 26, pp. 1554-1562, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09205071.2012.704553>

[2] Y. Lai, Y. Ma, Y. Huang, J. Chen and S. C. Mukhopadhyay, "Ubiquitous motion sensing service using wearable shoe module and mobile device," in 2013 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), pp. 1376-1379, 2013.

[3] C. Pang, C. Lee and K. Suh, "Recent advances in flexible sensors for wearable and implantable devices," J. Appl. Polym. Sci., vol. 130, pp. 1429-1441, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/app.39461>

[4] T. Yasin, R. Baktur and C. Furse, "A study on the efficiency of transparent patch antennas designed from conductive oxide films," in 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), pp. 3085-3087, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/APS.2011.5997183>

[5] R. N. Simons and R. Q. Lee, "Feasibility study of optically transparent microstrip patch antenna," in Antennas and Propagation Society International Symposium, 1997. IEEE., 1997 Digest, vol. 4. IEEE, pp. 2100-2103, 1997. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/aps.1997.625381>

[6] R.N. Simons and R. Q. Lee, U.S. Patent #5,872,542, Optically Transparent Microstrip Patch and Slot Antennas, Date Issued: Feb. 16, 1999,

[7] T. Peter and R. Nilavalan, "Study on the performance deterioration of flexible UWB antennas," in Antennas & Propagation Conference, 2009. LAPC 2009. Loughborough, pp. 669-672, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/lapc.2009.5352385>

[8] J. R. Saberlin and C. Furse, "Challenges with optically transparent patch antennas," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 54, pp. 10-16, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MAP.2012.6293946>

김 용 성(Youngsung Kim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 성균관대학교 금속재료공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 2000년 3월 : 일본 Tohoku Uni. 및 NRIM 근무
- 2000년 3월 ~ 2010년 2월 : 성균관대학교 연구교수
- 2010년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 교수

<관심분야>

나노 IT융합기술 및 전자신소재

정 창 원(Seungman Hong)

[정회원]



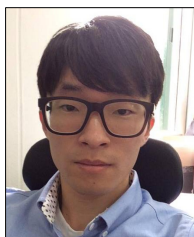
- 2001년 12월 : University of Southern California, 전자공학(석사)
- 2005년 6월 : University of California, Irvine, 전자공학 (박사)
- 1997년 1월 ~ 2000년 6월 : LG정보통신, 연구원
- 2005년 7월 ~ 2005년 10월 : University of California, Irvine, Post Doctor
- 2005년 11월 ~ 2008년 4월 : 삼성종합기술원, 전문연구원
- 2008년 5월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교, NID 융합기술대학원,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

<관심분야>

안테나, RF, EMI/EMC, RF-MEMS, 센서

홍 승 만(Seungman Hong)

[준회원]



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

<관심분야>

안테나 및 전자신소재