

논문 2007-44SD-11-3

Ar Ion Beam 처리를 통한 Organic Thin Film Transistor의 성능향상

(Performance enhancement of Organic Thin Film Transistor by Ar Ion Beam treatment)

정 석 모*, 박 재 영*, 이 문 석**

(Sukmo Jung, Jaeyoung Park, and Moonsuk Yi)

요 약

OTFTs (Organic Thin Film Transistors)의 구동에 있어, 게이트 절연막 표면과 채널의 계면상태가 소자의 전기적 특성에 큰 영향을 미치게 된다. OTS(Octadecyltrichlorosilane)등과 같은 습식 SAM(Self Assembly Monolayer)를 이용하거나, O₂ Plasma와 같은 건식 표면 처리등 여러 표면 처리법에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 pentacene을 진공 증착하기 전에 게이트 절연막을 O₂ plasma와 Ar ion beam을 이용하여 건식법으로 전처리 한 후 표면 특성을 atomic force microscope (AFM) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)를 사용하여 비교 분석하였고, 각 조건으로 OTFT를 제작하여 전기적 특성을 확인하였다. Ar ion beam으로 표면처리 했을 때, O₂ plasma처리했을 때 보다 향상된 on/off ratio 전기적 특성을 얻을 수 있었다. 표면 세정을 위하여 O₂ plasma 처리시 SiO₂ 표면의 OH-기와 반응하여 oxide trap density가 높아지게 되고 이로 인하여 off current가 증가하는 문제가 발생한다. 불활성 가스인 Ar ion beam 처리를 할 경우 게이트 절연막의 세정 효과는 유지하면서, O₂ Plasma 처리했을 때 증가하게 되는 계면 trap을 억제할 수 있게 되어, mobility 특성은 동등 수준으로 유지하면서 off current를 현저하게 줄일 수 있게 되어, 결과적으로 높은 on/off ratio를 구현할 수 있다는 것을 확인하였다.

Abstract

This paper reports the effects of Ar ion beam surface treatment on a SiO₂ dielectric layer in organic thin film transistors. We compared the electrical properties of pentacene-based OTFTs, treated by O₂ plasma or Ar ion beam treatments and characterized the states of the surface of the dielectric by using atomic force microscopy and X-ray photoelectron spectroscopy. For the sample which received O₂ plasma treatment, the mobility increased significantly but the on/off current ratio was found very low. The Ar ion beam-treated sample showed a very high on/off current ratio as well as a moderately improved mobility. XPS data taken from the dielectric surfaces after each of treatments exhibit that the ratio of between Si-O bonds and O-Si-O bonds was much higher in the O₂ plasma treated surface than in the Ar ion beam treated surface. We believe that our surface treatment using an inert gas, Ar, carried out an effective surface cleaning while keeping surface damage very low, and also the improved device performances was achieved as a consequence of improved surface condition.

Keywords : Ar ion beam, O₂ plasma, organic thin film transistor, OTFTs, pentacene

I. 서 론

* 학생회원, ** 정회원 부산대학교 전자전기공학부
(School of Electrical Engineering, Pusan National University)

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2007년3월30일, 수정완료일: 2007년10월18일

전도성 유기 TFT의 연구는 1940년대부터 시작되어 1977년 분자 구조가 단순한 공액성 유기 고분자인 폴리 아세틸렌이 반도체 특성을 나타내고 도핑 하면 전기 전

도도가 향상되는 연구 결과가 보고된 후 전도성 유기 반도체에 대한 활발한 연구가 수행되어지고 있다. 유기 전자소자는 가볍고 유연하여 섬유나 필름으로 성형이 가능하며 다양한 공정과정, 특히 저렴한 생산비와 저온 공정이 가능하다는 특성을 가지고 있어 전기전자 소자 및 광소자 등 광범위한 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있다. 최근 유기 박막 트랜지스터(organic thin film transistor: OTFT)는 기존의 고체 실리콘 트랜지스터로 실현할 수 없는 flexible display, 스마트카드, RF 태그 등의 응용분야에 핵심소자로 활용될 수 있다. [1~2]

OTFT의 성능은 유기 활성박막의 결정도에 크게 영향을 받는다. 결정도는 유기 박막의 성장공정과 유기박막이 성장될 게이트 절연층의 표면 상태에 큰 영향을 받기 때문에 박막성장공정 및 표면상태의 최적화에 연구가 집중되고 있다. 박막성장공정 및 표면상태의 최적화를 위한 방법으로 O₂ plasma cleaning, octadecyltrichlorosilane(OTS), HMDS등이 제시되고 있다. [3~4]

본 논문에서는 새로운 표면상태 최적화를 위한 방법으로 SiO₂ 표면에 Ar ion beam을 사용하였으며 O₂ plasma처리를 한 소자와 특성을 비교 하였다.

II. 본 론

1. OTFT 구조

그림 1은 특성 분석을 위해 제작된 OTFT의 구조를 나타낸 것이다. p-type 도핑된 실리콘 기판(0.005Ω·cm 이하)을 바닥의 게이트 전극으로 사용하였고, 600Å 두께의 thermal SiO₂가 게이트 절연층으로 사용 되었다. SiO₂ 앞부분을 게이트 전극으로 사용하기 위하여 포토 레지스트 코팅 후 buffered oxide etchant(BOE)를 이용하여 제거하였고, 기판은 trichloroethylene(TCE), acetone, methanol, DI water를 초음파 세정기를 통해 세정하였다.

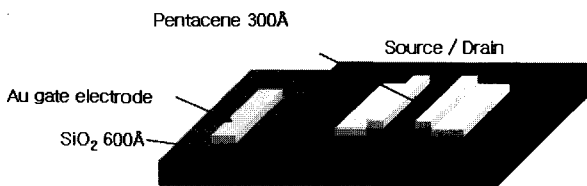


그림 1. 유기 박막 트랜지스터의 구조
Fig. 1. Structure of OTFT.

2. Ar ion beam을 이용한 SiO₂ 표면 처리

본 실험에서는 SiO₂ 표면처리 방법에 따른 pentacene 박막 성장의 유의차 및 이로 인한 OTFT 전기적 특성 변화를 관찰하였다. 표면처리 방법에 따라 SiO₂ 표면 상태는 상이하게 되고, 표면처리 방법과 세기에 따라 전 공정의 잔류 유기물의 제거 상태가 달라지며, SiO₂ 표면에 존재할 것으로 예상되는 oxide dangling bond density의 증감이 예상된다. 본 실험에서는 RIE장비를 이용한 O₂ plasma와 Ar ion beam을 이용한 표면 처리 그리고 처리하지 않은 경우를 비교 하였다. 사용된 Ar ion beam 장비의 개략도를 그림 2에 나타내었다. 본 논문에서 중점적으로 사용한 Ar ion beam은 SiO₂ 표면이나 다른 재료들의 표면특성을 변화시키는 것과 관련한 많은 연구들이 수행되고 있다. 그러한 예 중에 하나로서, liquid crystal(LC)을 현재 여러 가지 공정상의 불량을 야기하는 기존의 rubbing이라는 물리적인 방법이 아닌 비접촉 배향에 의한 alignment techniques 대체 방법의 하나로 polyimide(PI)와 같은 표면에 Ar ion beam을 이용한 연구가 이미 활발히 진행되고 있다. [5],[6],[7]

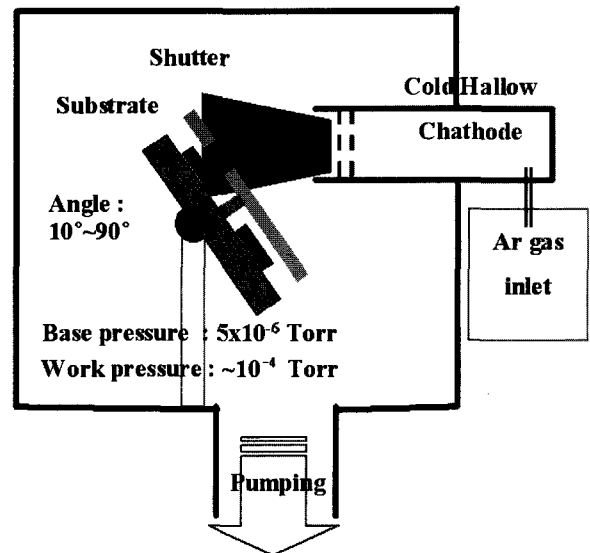


그림 2. Ar ion beam sputtering 시스템의 개략도
Fig. 2. Schematic layout of Ar ion beam sputtering system.

3. Process

처리 방법에 따른 효과를 알아보기 위하여 세 가지 방법을 사용하였다. 첫 번째로 SiO₂ 표면위에 O₂ plasma(RF power: 25~100W, 5~60sec)를 사용하였고, 두 번째로 Ar ion beam(Energy: 25~500eV, 30~90sec)을 처리하였으며, 마지막으로 비교를 위하여 아무 처리

하지 않은 SiO₂를 사용하였다. 본 실험에서 pentacene의 증착을 위해 진공도는 1x10⁻⁶Torr이하로, 증착율은 0.1~0.2Å/sec로 유지하면서 박막을 형성하였다. 마지막으로 금을 500Å 진공 증착 시켜 전극으로 사용하였다.

III. 실험 결과

1.AFM(Atomic Force Microscope) 분석

본 실험에서는 표면 처리 조건에 따른 SiO₂ 표면 변화를 AFM으로 관찰하였다. 그림 3의 (a)에서 표면처리를 하지 않은 SiO₂의 표면 거칠기는 Ra:0.343nm로 다소 거친 것을 알 수 있다. 그러나 그림 3의 (b)에서처럼 O₂ plasma를 사용하였을 경우 표면 거칠기는 Ra:0.171nm로 개선되어지는 것을 확인 하였다. (c),(d)는 Ar ion beam 처리 조건에 따른 SiO₂ 표면 AFM사진이다. Ion beam energy가 증가할수록 SiO₂ 표면 거칠기는 (c)조건에서 Ra:0.222nm, (d)조건에서 Ra:0.170nm로 줄어드는 것을 확인 하였다. 일반적으로 기판의 표면 거칠기가 증가하면 핵자(核子)밀도가 증가하고 grain 크기는 작아지게 된다.^[8] 위 결과로 볼 때, O₂ plasma 처리와 동일하게 Ar ion beam처리도 표면세정 능력이 있다고 판단할 수 있다.

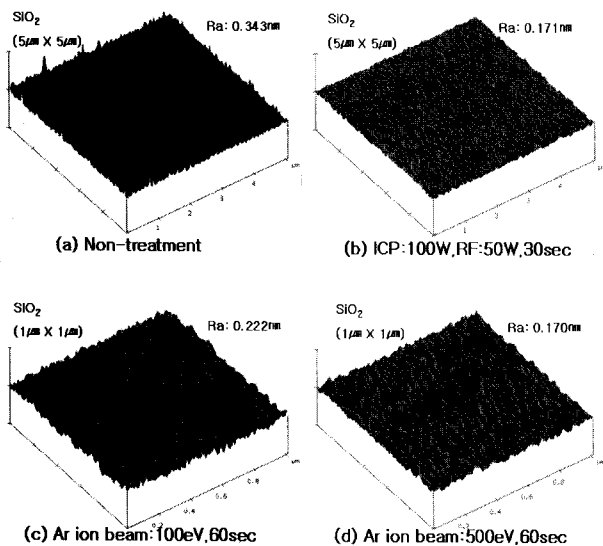


그림 3. 표면처리 조건별 SiO₂표면 AFM사진
Fig. 3. AFM data of SiO₂ surfaces after each surface treatments.

2. XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy)분석

본 실험에서는 표면처리 조건에 따른 SiO₂층의 화학적 상태를 XPS를 통해 분석해 보았다. 그림 4의 (a)에서 O₂ plasma의 ICP, RF power가 높아질수록 SiO₂표

면의 binding energy가 낮은 쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다. binding energy가 낮은 쪽으로 이동한다는 것은 화학적 결합 상태가 다소 불안정한 비율로 늘어난다는 것을 의미한다. 그러나 Ar ion beam으로 표면 처리를 할 경우, 그림 (b)에서처럼 ion beam energy를 증가시키더라도 binding energy의 이동이 거의 관찰 되지 않는다. 즉 Ar ion beam으로 표면처리를 하면 화학적으로 불안정한 결합이 거의 증가하지 않는다는 것을 의미한다. SiO₂ 표면을 O₂ plasma를 이용하여 처리할 경우, oxide ion이 O-Si의 dangling bond를 증가시키는 역할을 하는 것으로 판단되며, 불활성 기체인 Ar을 이용할 경우에는 dangling bond의 비율이 증가하지 않는 것으로 예상된다.

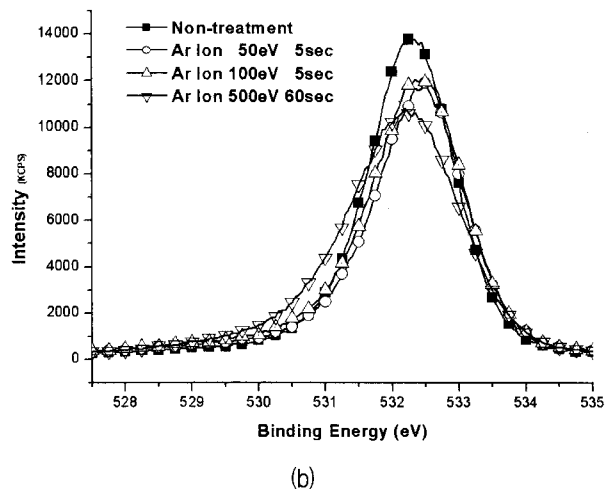
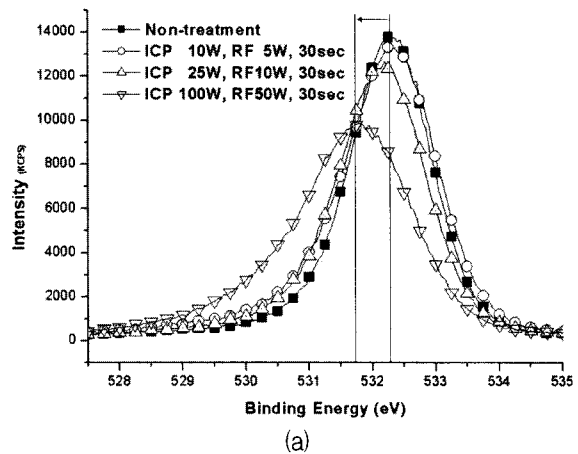
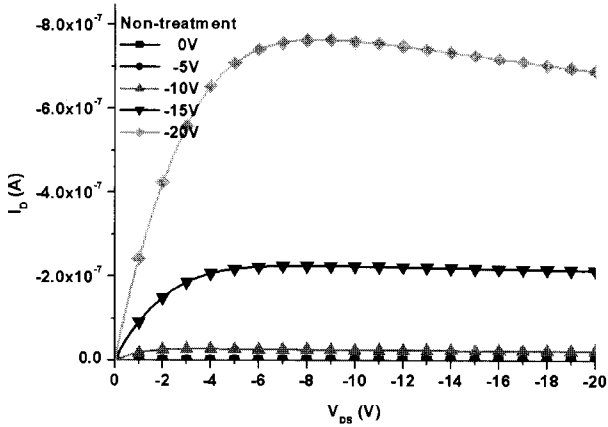


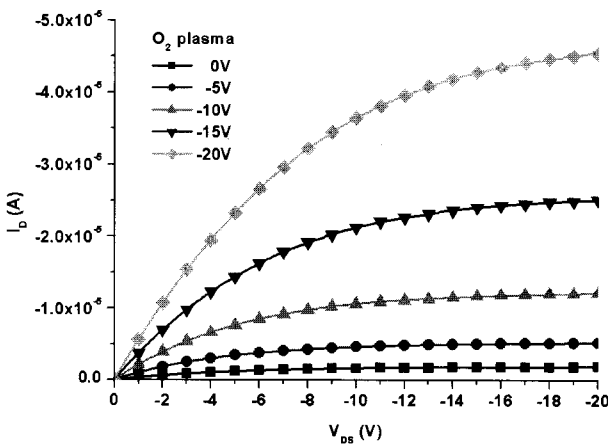
그림 4. 표면처리 조건별 O-Si binding energy 변화
Fig. 4. O-Si binding energy variation depending on different surface treatment conditions.

3. OTFT의 전기적 특성

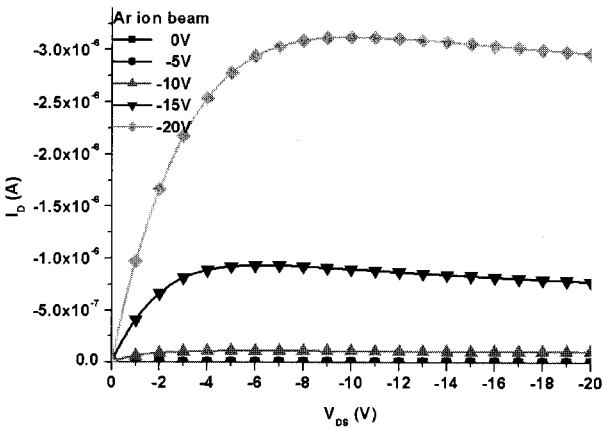
그림 5는 표면처리 조건에 따른 OTFT의 조건별 V_{DS}-I_D 곡선이다. 표면처리하지 않은 샘플은 전하이동



(a) Non-treatment



(b) ICP 100W, RF 20W, 10sec



(c) Ar ion beam 300eV, 60sec

그림 5. 표면처리 조건별 $V_{DS}-I_D$ 특성곡선
Fig. 5. The $V_{DS}-I_D$ curves of different three samples.

도가 $0.038 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 로 매우 낮으며, $V_G = -20\text{V}$ 에서 I_D 가 $\sim 10^{-7}\text{A}$ 대의 최대전류량 특성을 보이고 있다. $V_G = 0\text{V}$ 에서 I_D 가 10^{-12}A 로 전류점멸비가 $10^5 \sim 10^6$ 의 특성을 나타내었다.

Ar ion beam처리를 한 경우 SiO_2 표면의 거칠기가 줄어들어 pentacene grain 크기가 증가하고, SiO_2 표면

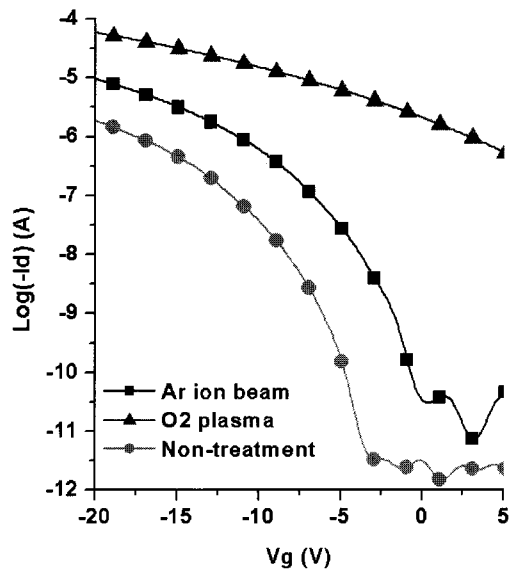


그림 6. 표면처리 조건별 V_G-I_D 특성곡선
Fig. 6. The V_G-I_D Curves of each three samples.

표 1. 표면처리 조건별 전기적 특성
Table 1. The electrical characteristics of three OTFT samples.

Surface Treatments	Mobility ($\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$)	I_{on}/I_{off} (A)	I_{off} (A)
Non-treated	0.038	$\sim 10^6$	$\sim 10^{-12}$
O ₂ plasma	0.3	$\sim 10^2$	$\sim 10^{-7}$
Ar ion beam	0.129	$\sim 10^6$	$\sim 10^{-12}$

의 trap density는 변하지 않아 표면처리 하지 않은 조건 대비 $0.129 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 로 높은 전하이동도 특성을 나타낸다. $V_G = -20\text{V}$ 에서 I_D 가 $\sim 10^{-6}\text{A}$ 대의 높은 최대전류량 특성을 보이고 누설전류는 $V_G = 0\text{V}$ 에서 I_D 가 $\sim 10^{-12}\text{A}$ 로 전류점멸비가 $10^5 \sim 10^6$ 의 특성을 나타내었다.

그림 6의 V_G-I_D 곡선에서 표면처리 조건별 전기적 특성을 보다 명확히 비교할 수 있다. 각 표면처리 조건별 V_G-I_D 곡선은 재현성을 나타내고 있으며, 조건별 특성은 명확히 구분되고 있다.

조건별 소자의 특성은 예상결과와 비슷하게 특성이 나타났으며 그림 5의 조건에서 표면처리 조건별 OTFT의 전기적 특성을 표 1에 정리하였다.

IV. 결론

본 연구를 통하여 게이트 절연층(SiO_2)의 표면처리 조건별 OTFT의 전기적 특성 변화를 관찰 하였다.

O_2 plasma로 표면처리를 할 경우 세정 효과를 보였으나 SiO_2 표면에 trap density가 증가하여 전하이동도

는 $0.3\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 로 증가하나 누설전류 10^{-7}A 정도로 증가하여 전류점멸비가 10^2 정도로 나타났다.

그러나 Ar ion beam으로 표면처리 할 경우 표면세정 효과로 인한 grain 크기의 증가로 전하이동도가 $0.129\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 로 증가하였고 표면 trap density변화가 없는 관계로 누설전류가 10^{-12}A 로 유지할 수 있게 되어 전류점멸비가 10^6 정도의 특성을 가지는 소자를 제작할 수 있었다.

참 고 문 헌

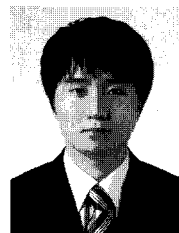
[1] A. N Krasnov, "High-contrast organic light-emitting diodes on flexible substrates," Appl. Phys. Lett., vol.80, pp.3853-3855, May 2002.
 [2] A Sugimoto, H Ochi, S Fujimura, "Flexible OLED displays using plastic substrates," IEEE J Select Topics Quantum Electron., Vol.10, pp.107-114, Jan-Feb 2004.
 [3] Sang Chul Lim, Seong Hyun Kim, Jung Hun Lee, Mi Kyung Kima, Do jin Kim, Taehyoung Zyunga, "Surface-treatment effects on organic thin-film transistors," Synthetic Metals 148, pp. 75-79, Jan 2005.

[4] Karthik Shankar, Thomas N. Jackson, "Morphology and electrical transport in pentacene films on silylated oxide surfaces," J.Mater. Res, Vol.19, No.7, Jul 2004.
 [5] Han Jin Ahn, Soon Joon Rho, Kyung Chan Kim, Jong Bok Kim, Byoung Har Hwang, Chang Joon Park, Hong Koo Baik, "Ion-Beam Induced Liquid Crystal Alignment on Diamond-like Carbon and Fluorinated Diamond-like Carbon Thin Films," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 44, pp. 4092-4097, 2005.
 [6] Jin Seog Gwag, Kyoung-Ho Park, Dong Jin Kang, Chul Gyu Jhun, Hee Kim, Seong Jin Cho, Tae-Hoon Yoon and Jae Chang Kim, "Polyimide Surface Bombarded with Ar Atomic Beam," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, L468-L471, 2003.
 [7] Hong-Ryul Kim and Hyung-Ho Park, "The Effect of Ar+ Ion Bombardment on SiO₂ Aerogel Film," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37, pp. 6955-6958, 1998.
 [8] Jae-Won Chang, Hoon Kim, Jai-Kyeong Kim and Byeong Kwon Ju, Structure and Morphology of Vacuum-Evaporated Pentacene as a Function of the Substrate Temperature J. Korean Phys. Soc. 42, pp. S647-657, Feb 2003.

저 자 소 개



정 석 모(학생회원)
 2006년 동아대학교 전자공학과
 학사 졸업
 2006년~현재 부산대학교 전기
 전자공학부 석사 과정
 <주관심분야 : OTFT>



박 재 영(학생회원)
 2006년 인제대학교 나노공학부
 학사 졸업
 2006년~현재 부산대학교 전기
 전자공학부 석사 과정
 <주관심분야 : OTFT>



이 문 석(정회원)
 1991년 포항공과대학교 전자전기
 공학과 학사 졸업.
 1995년 포항공과대학교 전자전기
 공학과 석사 졸업.
 1999년 포항공과대학교 전자전기
 공학과 박사졸업.

1999년 7월~2002년10월 미국 LBNL. Post Doc.
 /Staff Scientist
 2002년12월~2004년8월 삼성전자 반도체총괄
 책임연구원
 2004년 9월~현재: 부산대학교 전자전기공학부
 조교수.
 <주관심분야 : 반도체 소자, 공정, OTFT>