

몰리브덴 팁 전계 방출 소자를 이용한 CRT의 냉음극 전자총의 제조 및 특성 평가

論 文
50C-8-8

Fabrication and Characterization of Cold Cathode Electron-gun of CRT using Mo-tip Field Emitter Array

朱炳權*·金勳*·徐祥源***·朴鍾元*·李允熙*·金南帥**
(Byeong-Kwon Ju · Hoon Kim · Sang-Won Seo · Jong-Won Park · Yun-Hi Lee · Nam-Su Kim)

Abstract - In the electron-gun of CRT, the Mo-tip FEA was employed as cold cathode in order to replace the conventional thermal cathode. The Mo-tip FEA was designed and fabricated according to CRT specification and mounted on the electron-gun. It was known that the fabricated cold cathode electron-gun showed better performance in terms of maximum emission current and switch-on time when compared with the ones of thermal cathode electron-gun, but some geometrical structures in the inside of electron-gun must be changed to reduce the gate leakage current. Finally, the potential applicability was guaranteed by means of operating the 19 inch-sized LG-color CRT using the fabricated cold cathode electron-gun.

Key Words : field emitter array, cold cathode, electron-gun, cathode ray tube

1. 서 론

CRT(Cathode-Ray Tube)에 있어서 열음극(thermal cathode)을 몰리브덴 팁 전계 방출 소자 어레이(Mo-tip FEA : Mo-tip Field Emitter Array)를 이용한 냉음극(cold cathode) 전자총으로 대체할 경우, 잠재적으로 여러 장점을 취할 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 방출 전류를 증가 시키고 응답 시간을 감소시킬 수 있고, 가열원이 필요하지 않아 소비 전력과 주변 요소에 대한 손상 가능성을 줄일 수 있으며, 집적화 기술의 적용이 가능하다. 아울러, 게이트 전극이 전자 방출원과 함께 집적화 되어 있으므로, 전자총 조립에 필요한 span-set 공정(열음극 전자총에서 전자빔 cut-off 전압과 밀접한 관계가 있는 음극과 게이트 전극-G1 전극의 거리를 수 m 단위로 정렬-조립하는 공정)을 생략할 수 있다. 이로 인해 최근 FEA를 전자총으로 이용한 CRT의 연구 개발 결과가 활발히 보고되고 있다[1-3].

본 연구에서는 상술한 배경을 토대로 하여 LG 전자의 CRT 용 전자총의 규격에 맞추어 Mo-tip FEA를 설계 및 제조하였고, 제조된 소자에 대해 전자총으로서의 특성을 평가하여 보았으며, 이를 적용한 CRT(FEA-CRT)의 동작 가능성을 확인하였다. 표 1은 현재 LG 전자에서 채용하고 있는 열음극의 규격과 본 연구에서 제조한 Mo-tip FEA 냉음극의 목표 규격을 비교한 것이다.

표 1. 열음극 및 Mo-tip FEA 냉음극의 규격 비교
Table 1. Specification comparison between thermal and Mo-tip FEA cold cathodes

분류	CRT : 열음극	FEA-CRT : 냉음극
전자방출부 형성면적	1.8 mm ² ea.	0.07~0.8 mm ² ea
구동전압	V _{cathode} ≤ 150V (780℃)	V _g ≤ 100V
방출전류밀도	> 0.5A/cm ²	> 1A/cm ²
초기응답시간	< 10초	< 10 ⁻⁹ 초

* 열음극에서는 cathode warm up time을 의미

2. 실험 방법

2.1 Mo-tip FEA의 설계 및 제조

CRT 전자총에 적용하기 위하여, 표 2에 나타낸 규격을 갖는 Mo-tip FEA 패턴이 설계되었다. 즉, 마스크 패턴은 FEA에 정의된 Mo-tip의 수에 따라서 3가지로 구분하여 설계되었으며, 기판으로는 강하게 도핑된 n형 (100) 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. Chip의 크기는 15mm x 5mm로 하였고, 내부에 동일한 크기를 가진 3 개의 R(Red), G(Green), B(Blue)용 전자 방출원을 형성하였다. 본 실험에 사용된 마스크는 R-G-B용 전자 방출원의 직경이 300m, 500m 그리고 1,000m에 이르는 단위 전자 방출 면적에 따라 세 가지 형태의 소자로 구분하였으며, 각 크기의 소자 내에 Mo-tip의 수를 각 1,376개, 3,960개 그리고 16,256개로 구성하였다. 아울러 FEA의 팁 간 거리(tip-to-tip spacing)는 모두 7m로 정의하여 packing density를 2,084,210 tips/cm²로 하였다.

그림 1(a)는 마스크의 전체 레이아웃을 나타낸 것으로, 4

* 正 會 員 : KIST 情報材料素子센터 研究員·先任·責任研究員

** 準 會 員 : 忠北大 半導體共學科 副教授

*** 準 會 員 : B&P Science 先任研究員

接受日字 : 2001年 3月 26日

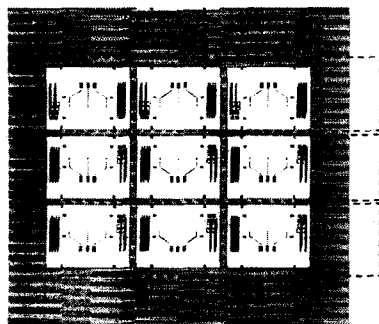
最終完了 : 2001年 7月 3日

인치 실리콘 웨이퍼 위에 9 개의 소자가 제조된다. 그림 1(b)는 한 개의 소자를 확대한 모양으로 R-G-B 용으로 3 개의 sub-FEA들이 형성되며, 이의 주변에 테스트용 패턴과 패드가 집적화되어 있는데, 이는 전자총에 탑재하기 이전에 전기적인 테스트를 하기 위하여 마련된 것이며 최종적으로 소자를 탑재할 때에는 이 부분을 절단하여 사용하지 않는다. 그림 1(c)는 하나의 sub-FEA를 확대한 것으로 원형 부분에 Mo-tip FEA가 형성되며, wiring을 위한 패드가 연결되어 있다. 그리고 Mask 설계 시 모든 모서리 부분은 전기적인 아킹(arching)을 가능한 억제하기 위해 둥근 모양을 띄도록 설계하였다.

표 2. Mo-tip FEA의 설계 사양

Table 2. Design specification of Mo-tip FEA

	Mask layout
Substrate	Heavily doped N-type Si wafer
Chip size	15mm × 5mm
Sub-FEA number	3 (R, G, B)
Tip-to-tip spacing	7μm
Type	A-type : 1,376tips / 0.071 mm ² B-type : 3,960tips / 0.196 mm ² C-type : 16,256tips / 0.785 mm ²
Packing density	20,842tips /mm ²



(a)



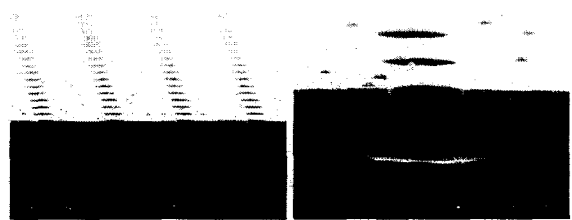
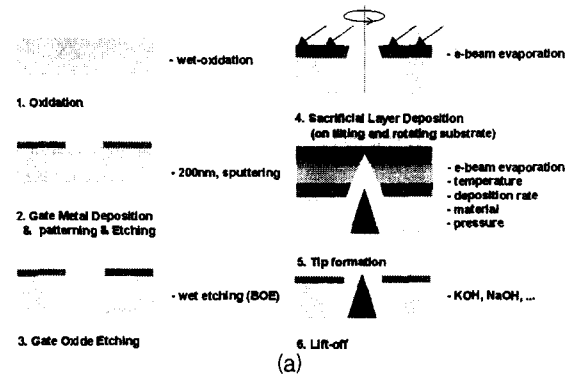
(b)



(c)

그림 1. CRT-전자총 응용을 위한 Mo-tip FEA의 마스크 레이아웃. (a) 전체 패턴, (b) 소자 패턴, (c) 확대된 모양

Fig. 1. Mask lay-out of Mo-tip FEA for CRT-electron gun application. (a) Entire pattern, (b) Device pattern, (c) Magnified view



(b)

그림 2. Mo-tip FEA의 제조 공정(a) 및 구조(b)

Fig. 2. Fabrication process(a) and structure(b) of Mo-tip FEA

Mo-tip FEA의 제조 공정은 Spindt-process를 따랐으며, 이는 그림 2(a)를 이용하여 설명할 수 있다. 즉, 실리콘 웨이퍼를 습식 열 산화시켜 게이트 산화막을 성장시킨 뒤, 게이트 전극막을 스퍼터링하고 패터닝한다. 게이트 홀을 가공한 뒤 경사 회전법(tilt and rotation)에 의하여 알루미늄을 희생층을 증착한다. 이 위에 몰리브덴을 증착하여 팁을 형성한 다음 lift-off 공정에 의해 알루미늄 층과 몰리브덴 층을 제거하여 소자를 완성한다. 그림 2(b)는 이상과 같은 공정을 거쳐 제조된 Mo-tip FEA의 모양을 보인 것으로, 게이트 절연막과 게이트 전극의 두께가 각각 0.85μm, 0.25μm 인 것을 알 수 있으며 Mo-tip의 높이는 1.0 μm인 것을 알 수 있다. 특히 게이트 전극의 모서리 부분이 각도가 90°를 이루고 있음을 주목할 필요가 있다.

2.2 조립 및 전자총 탑재

제조된 Mo-tip FEA에 대해 1차적으로 고진공 챔버 내에 넣고 전계 방출 특성을 테스트하였다. 테스트 조건으로서, 양극으로는 형광체가 도포된 유리 기판을 사용하였고, 진공도 $P = 4 \times 10^{-6}$ Torr로 CRT의 진공도 수준을 유지하였으며, 팁-양극간 거리 $d = 750\mu\text{m}$, 양극 전압 $V_a = 700\text{V}$, 게이트 전압 $V_g = 0 \sim 100\text{V}$ 로 하였다. 주요 방출 특성을 살펴보면, 표 2에 나타난 C-type FEA의 경우 $V_g = 131\text{V}$ 에서 최대 방출 전류 $I_a = 10\text{mA}$ 가 얻어졌고, Mo-tip의 수가 1,376개인 A-type의 경우 평균 방출 전류를 $I_{a, \text{ave}} = 225\mu\text{A}$ (164 nA/tip)로 유지하고 300시간 동안 전류의 표동 특성을 측정 한 결과 소자의 급격한 손상은 관찰되지 않았으며, 평균 게이트 전류는 $I_{g, \text{ave}} = 3.7\mu\text{A}$ 정도로 나타났다.

사전 테스트가 완료된 Mo-tip FEA 소자들에 대해 chip scribing, mounting, wiring을 거쳐 조립을 완료하였다. 이러한 조립 과정을 그림 3(a)에 나타내었는데, 흰 점선 부분으로 표시된 부

분만 절단하여 금속 헤드에 부착하였으며, 기판을 음극으로 사용하였고, 세 개의 게이트 전극은 헤드의 핀과 wiring하였다. 이와 함께 조립된 부분의 상세한 설명을 그림 3(b)에 도시하였다.

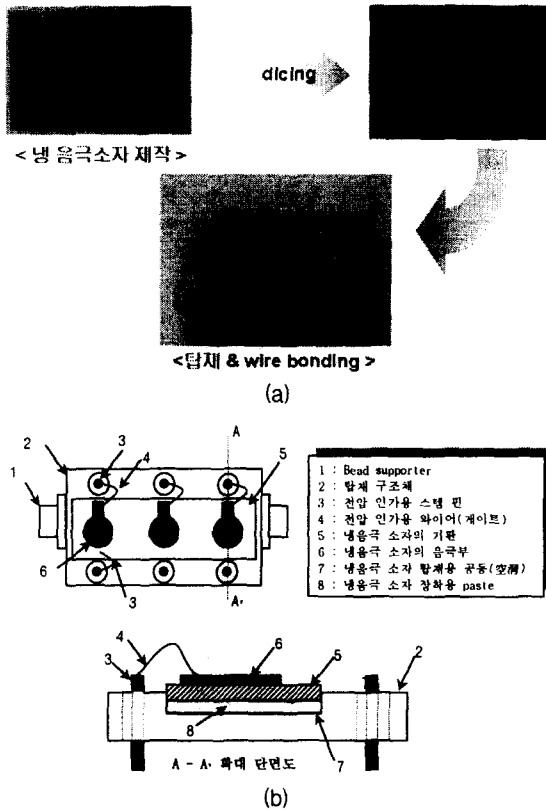


그림 3. Mo-tip FEA의 조립 과정(a) 및 설명(b)
 Fig. 3. Assembly process(a) and description(b) of Mo-tip FEA

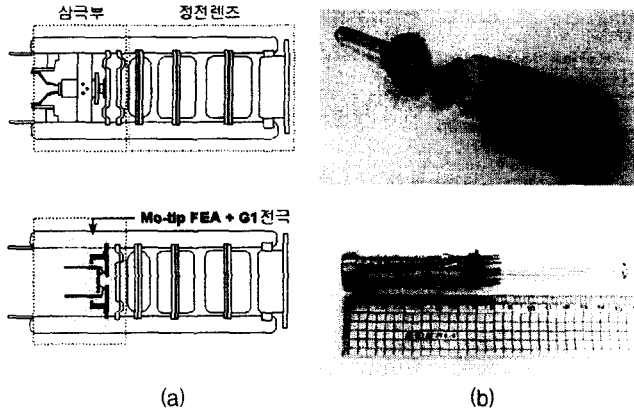


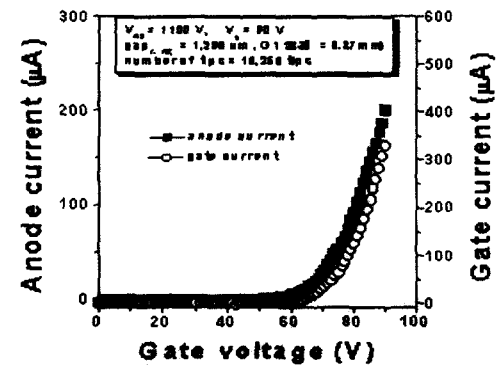
그림 4. Mo-tip FEA가 탑재된 CRT-전자총의 구성 및 사진
 Fig. 4. Structure(a) and photograph(b) of CRT-electron gun using a Mo-tip FEA

조립된 소자는 전자총에 탑재되었으며, 최종적으로 완성된 Mo-tip FEA 전자총의 구조와 모양을 그림 4에 나타내었다. 즉, CRT 용 열음극 전자총의 구성은 그림 4(a)의 위에 보인 바와 같이 전자를 생성 방출하는 음극, 방출되는 전자빔의 양을 제어하는 전극인 G1과 음극에서 방출된 전자를 가속하는 전극인 G2를 포함하여 삼극부를 형성하고, 삼극부에서 생성,

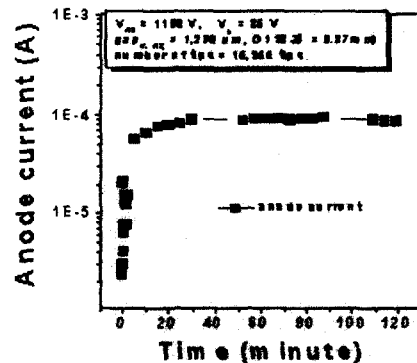
방출 및 제어, 가속된 전자빔을 화면에 집속 시키기 위한 정전 렌즈용 전극들로 이루어진다. 그림 4(a)의 아래에 보였듯이 이러한 열음극 전자총에서 Mo-tip FEA 전자총은 전자를 생성 방출하는 음극을 열음극 대신에 Mo-tip FEA를 사용한 것으로 전자빔의 양을 제어하는 G1 전극을 변형하여 Mo-tip FEA 위에 구성하였으며, 전자총의 나머지 부분은 열음극 전자총과 동일하게 구성하였다. 최종적으로 완성된 Mo-tip FEA 전자총의 실제 모양을 그림 4(b)에 나타내었다.

3. 특성 평가 및 분석

Mo-tip FEA가 탑재된 냉음극 전자총에 대해 전계 방출 특성을 평가하였다. 즉, 16,256tips/0.785mm인 소자에 있어서 게이트 전압(V_g)에 따른 양극 전류(I_a)의 변화를 그림 5(a)에 보였다. $V_g = 90V$ 일 때 $I_a = 200\mu A$ 로 나타났으며, 게이트 누설 전류(I_g)는 $330\mu A$ 로 매우 큰 값이 얻어졌다. 이는 Mo-tip FEA를 조립하기 이전에 진공 챔버 내에서 측정된 경우에 해당하는 $V_g = 80 V$ 일 때 $I_a = 350\mu A$, $I_g = 7\mu A$ (I_a 의 2%)에 비하여 성능이 매우 저하된 것이다. 이러한 이유로서, 조립 과정에서 발생하는 열화 및 오염 문제를 들 수 있으며, 특히 I_g 의 급격한 증가는 게이트 절연막의 손상 및 이를 통한 누설 전류 증가가 아니라 Mo-tip FEA의 바로 위에 위치한 제어 전극인 G1 전극에 인가되는 전압 (0V : 접지)에 의해 Mo-tip 끝에서 방출되어 G1 홀을 통과하지 못한 전자가 상대적으로 높은 전압이 인가되는 게이트로 주입된 것으로 볼



(a)



(b)

그림 5. Mo-tip FEA가 탑재된 전자총의 전류-전압 특성(a) 및 전류 변동(b)

Fig. 5. Current-voltage characteristics(a) and current fluctuation(b) of the electron gun using a Mo-tip FEA

수 있다. 이러한 현상은 조립 공정의 최적화와 함께 전자총 내의 전자기적 모사 등을 통하여 집속 전극 및 여타 부가 전극들의 구조 및 위치를 적절히 설계하거나 공경 등을 조절하는 등의 방법을 통해 개선될 수 있다. 그림 5(b)는 제조된 Mo-tip FEA 전자총을 동작시키면서 시간에 따른 양극 전류의 변화 과정을 보인 것이다. $V_g = 85V$ 로 고정시켰으며, 이때 초기 20분 동안은 I_a 가 증가하다가 $100\mu A$ 로 안정화되고 이 값이 120분 이상 지속되는 것을 볼 수 있다.

다음으로, Mo-tip FEA 전자총을 LG 전자-19인치 CRT에 적용하여 이의 응용 가능성을 평가하였다. 이를 위하여 MECC사의 Universal CRT Test System(UTC)을 사용하였으며, 이 때 동작 전압은 그림 6에 보인 바와 같이 인가되었다. 그림 6(b)의 위 부분은 Mo-tip FEA에서 전자가 방사되는 부분을 확대한 이미지(K면)를 표시하기 위하여 양극(anode : Vanode)에 $5kV$, 포커스(focus : V_{focus}) 전극에 $4kV$, $G_2(VG_2)$ 전극에 $260V$, G_1 전극과 Mo-tip FEA에의 음극에는 $0V$ 를 인가하고, 전자빔 방출량을 조절하는 Mo-tip FEA의 게이트 전극(gate : V_{gate})에는 $90V$ 를 인가한 상태이다. 아울러, 그림 6(b)의 아래 부분은 cross hatch 패턴으로서, 양극(Vanode)에 $20kV$, 포커스 전극(V_{focus})에 $5kV$, $G_2(VG_2)$ 전극에 $650V$, 및 Mo-tip FEA의 게이트 전극(V_{gate})에 $90V$ 를 인가하여 표시하고 있다.

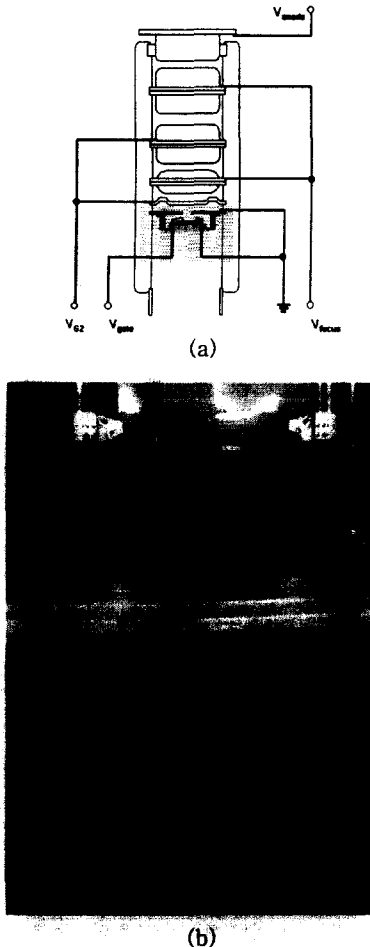


그림 6. FEA-전자총에 의한 CRT의 구동 방식(a) 및 패턴(b)
 Fig. 6. Driving method(a) and operating patterns(b) of CRT using Mo-tip FEA electron gun

4. 결 론

Mo-tip FEA를 이용하여 냉음극 전자총을 제작하였으며, 이의 전기적인 특성을 측정하고 CRT에 적용하여 동작 가능성을 평가한 결과 다음과 같은 점을 알 수 있었다.

1) Mo-tip FEA 전자총으로부터 얻은 최대 전류 밀도는 $1.27 A/cm^2$ ($10mA/0.785 mm^2$)로서, 전류 밀도와 초기 응답 속도(switch-on 시간 등) 면에서는 기존의 열 음극 전자총에 비해 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

2) 게이트 누설 전류의 경우 Mo-tip FEA에 인접한 전극 구성의 영향을 많이 받으므로 이는 전자총 구성에 대한 전기기적 모사와 이에 따른 구조의 최적화를 통해 해결할 수 있을 것으로 보인다.

3) 이와 함께 안정성과 수명 등, 신뢰성과 관련된 데이터 분석 및 문제 해결을 위하여 특히 조립 및 탑재 공정에서 발생하는 Mo-tip FEA 소자의 열화나 오염 등이 심도 있게 분석되어야 할 것으로 판단된다.

다음 단계로서, 조립 및 탑재 공정에서 발생하는 소자의 arcing과 관련된 연구가 수행될 것이며, 이와 함께 신뢰성과 관련된 연구 개발 과정을 통하여 CRT의 새로운 전자총 개념을 도입할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 LG 전자 디스플레이 Device 연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] F.C.Gehring et al., Avalanche cold cathode for CRTs, Proc. SID2000, Long Beach, USA (2000.5.14.-19.)
 [2] K.Konuma et al., Using field-emitter arrays as CRT cathodes, Information Display, pp.18-20 (2000.6.)
 [3] S.Okuda et al., Double-gate field-emitter arrays or CRT applications, Proc.IDW2000, Kobe, Japan, pp.525-528 (2000.11.29.-12.1.)

저 자 소 개



주 병 권 (朱炳權)

1962년 12월 2일 생. 1986년 서울시립대 전자공학과 졸업. 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 1995년 고려대 전자공학과 졸업(공학). 1995년 3월 현재 KIST 정보재료소재연구부 선임연구원. 관심분야 : FPD, MEMS, Packaging

Tel : 02-958-5775

E-mail : jbk@kist.re.kr



박 종 원 (朴鍾元)

1966년 12월 19일 생. 1992년 영남대 물리학과 졸업. 1994년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 1997년~현재 동 대학원 물리학과 박사과정. 1994년~현재 LG전자 디스플레이 Device 연구소 주임연구원. 관심분

야 : FED, CRT



김 훈 (金勳)

1970년 5월 23일 생. 1997년 2월 상지대 물리학과 졸업. 1999년 8월 경희대 대학원 물리학과 졸업(석사). 1999년 9월~현재 경희대 물리학과 박사과정. 주 관심분야 : 급속팁 전계방출소자



이 윤 희 (李允熙)

1963년 2월5일 생. 1985년 고려대 물리학과 졸업. 1987년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 물리학과 졸업(이박). 1987년 포항공대 연구원. 1988~1994년 KIST 정보전자연구부 연구원. 1994년~현재 KIST

정보재료소재연구센터 선임연구원. 관심분야 : CNT, ELD

Tel : 02-958-5772

E-mail : lyh@kist.re.kr



서 상 원 (徐祥源)

1972년 4월 7일 생. 1999년 2월 충북대 반도체과학과 졸업. 2001년 2월 충북대 반도체공학과 졸업(석사). 2001년 3월~현재 B&P SCIENCE 선임연구원 관심분야 : SOI 소자, 디스플레이 소자



김 남 수 (金南帥)

1954년 1월 21일 생. 1977년 서울대 물리학과 졸업. 1984년 Univ. of Connecticut 대학원 물리학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 물리학과 졸업 (이박). 1988년~1991년 현대전자 반도체 연구소. 1992년~현재 충

북대학 전기전자 및 컴퓨터공학부 부교수