

논문 2008-6-6

갈륨나이트라이드기반 발광다이오드의 정전기방전 피해 방지에 대한 연구

Studies on improvement scheme of Electro-Static Discharge protection of GaN based LEDs

최성재*, 이원식**

Sung Jai Choi*, Won Sik Lee**

요 약 최근 사파이어기판 위에 성장한 갈륨나이트라이드 발광다이오드의 소자 제작 기술이 비약적으로 발전하였다. 하지만 이들 다이오드가 이미 상업적으로 활용되고 있다 할지라도 갈륨나이트라이드 발광다이오드에 있어서 다이오드를 구성하는 물질들과 소형화에 따른 정전기 방전에 의한 피해를 고려해야한다. 정전기방전(ESD)에 의한 피해는 발광소자의 신뢰성에 매우 큰 영향을 주는 파라미터중 하나이다. 본 연구에서는 대량생산 되는 발광다이오드의 생산 공정에서 발생하는 정전기방전에 의한 피해와 이에 대한 대책을 논의하였다. 대부분의 ESD 문제는 장비의 적절한 사용과 공정 환경 개선을 통해서 제어되었다.

Abstract High performance light emitting diodes(LEDs) have been developed using GaN-based materials grown on sapphire substrates in recent years. Although these LEDs are already commercially available, we have to consider electrostatic discharge(ESD) damage related to both basic materials of diode and miniaturization of LEDs. ESD damage is one of the important parameters influencing reliability of the light emitting devices. We investigated mass production of GaN-based LEDs suffered from ESD during production process and present the solutions in order to improve the ESD problem. Most of ESD problems were controlled by using instruments properly and improvement of the process circumstances as well.

Key Words : Light Emitting Diode, Electro-Static Discharge, Mass Production, GaN-based LEDs

1. 서 론

최근 사파이어기판 위에 성장한 갈륨나이트라이드계 발광다이오드(LED)의 소자 제작 기술이 비약적으로 발전됨에 따라 고성능 발광다이오드의 다양한 응용이 모색되고 있다^[1-3]. 특히, 고휘도, 고효율 발광다이오드의 제작이 가능해짐에 따라 신호등, 풀 칼라 디스플레이는 물론 일반 조명에도 발광다이오드를 사용하려는 계획들이 시도되고 있다^[4].

사파이어 기판의 절연특성에 기인하는 갈륨나이트라

이드계 발광다이오드의 ESD (Electro-Static Discharge)에 의한 피해는 발광소자의 신뢰성에 매우 큰 영향을 주는 요소로 ESD 피해방지에 대한 연구의 중요성이 대두되고 있다^[5].

따라서 발광 다이오드의 다양한 응용을 위해서는 설계시 고휘도, 고효율 특성을 고려해야함은 물론 생산 과정에서 발생하는 ESD 손상에 대한 대책도 수립되어야한다.

ESD는 두 물체간의 접촉이나 전기장에 의하여 전하가 이동하는 현상으로서 전류의 갑작스런 surge는 반도체 소자의 전기적 특성을 변하게 하여 소자의 열화 또는 파괴로 이어지게 된다. 3-5족 화합물 반도체에서 ESD에 특히 조심해야하는 이유는 3-5족 화합물이 실리콘에 비

*정희원, 경원대학교 IT대학 전자통신공학부 전자공학과

**정희원, 경원대학교 교양대학 자율전공학부

접수일자 2008.10.15, 수정완료 2008.12.3

해 일시적인 전기적 충격(transient pulse stress)에 대하여 매우 취약하기 때문이다.

ESD하에서 3-5족 소자에 있어서 주요한 취약점으로 나타나는 현상으로는 MESFET과 HEMT의 경우 metal migration과 contact spiking, HBT의 경우 필라멘트화(filamentation)에 의한 junction damage, 광소자의 경우 전류 밀도 증가에 의한 burnout 등을 들 수 있으며 이들 소자의 크기를 작게 하였을 때 ESD에 의한 피해는 더욱 심각해진다.

특히 최근 들어 기술 발전 및 시장의 요구에 따라 전반적으로 소자의 고집적화와 고성능화가 이루어짐에 따라 실용화된 소자의 불량 임계치(failure threshold)가 일상에서 쉽게 접할 수 있는 정도의 정전기 세기보다 낮아지게 되어 소자는 항상 불량을 발생시킬 수 있는 환경에 노출되어 있다고 볼 수 있다.

갈륨나이트라이드를 기반으로 하는 LED의 경우 이와 같은 ESD의 피해를 방지하기 위하여 negative ESD stress하에서 pulse current를 방지하여 reverse ESD stress를 protect하는 Si-based Zener diodes^[6], Internal Schottky Diode formation^[7], PN diode^[8] 등의 소자를 삽입하거나 LED 에피 구조에 super lattice^[9-10], High temperature p-cap layer^[8], Two-layer p-cap layer^[11]를 채용하는 등과 같이 연구 결과가 발표된 바 있다. 그러나 이와 같은 방법들에서는 공정 단계의 복잡도에 따른 생산 수율의 저하로 인한 생산 단가의 증가로 경제적인 측면에서 상당한 손실이 발생한다.

이런 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 생산 수율 및 단가를 고려하여 최적화한 구조의 Surface mounted device(SMD)방법으로 대량 생산되고 있는 발광 다이오드에 대하여 생산과정에서 발생하는 ESD에 의한 피해를 생산 현장에서 획득한 자료에 대한 조사를 통하여 불량 발생에 영향을 끼치는 요인을 추출하고 이를 통하여 발광 다이오드의 ESD 신뢰성 향상과 공정상의 ESD damage 개선을 통한 공정 수율 향상을 위한 방법을 제시하였다.

II. 정전기방전의 전기적 모델 및 실험

1. 정전기방전 모델

1) Human Body Model

전하로 충전된 사람의 손이 소자의 리드에 닿았을 때

소자를 통하여 접지로 전하가 방전되면서 손상을 입히는 상황을 모델링한 것으로 등가 회로는 그림 1과 같다.

Cb는 인체의 등가커패시턴스, Rc는 인체 저항을 포함한 접촉저항, Vd는 방전 경로상 접합에서의 전압강하, Rb는 소자내부저항, Rc'는 소자-접지 간 접촉 저항이다.

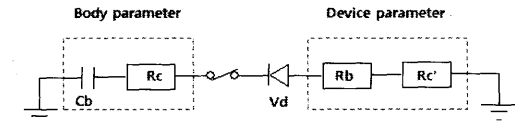


그림 1. 인체모델의 등가회로

Fig. 1. Equivalent circuit of Human Body Model .

2) Machine Model

전하로 충전된 금속이 소자에 닿았을 때 전하가 소자를 통하여 방전하면서 손상을 받게 되는 경우를 모델링한 것으로 등가회로는 그림 2와 같다.

Cb는 금속-접지간 등가커패시턴스이며 인체 모델에 비하여 소자에 훨씬 심한 스트레스를 주는 것으로 알려져 있다.

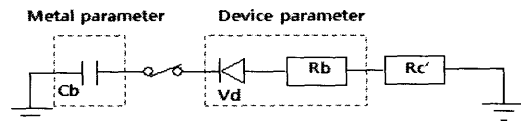


그림 2. 기계모델의 등가회로

Fig. 2. Equivalent circuit of Machine Model .

3) Charged Device Model

마찰 등에 의해서 소자의 리드 프레임에 충전되어 있던 전하가 단자를 통하여 접지로 방전하면서 소자에 손상을 입히는 경우를 모델링한 것으로 등가회로는 그림 3과 같다.

Cd는 소자와 접지면 사이의 등가 커패시턴스, Rd는 소자 내부저항, Ld는 리드의 인덕턴스, Rc는 접지와와의 접촉 저항을 나타낸다.

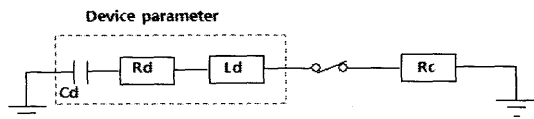


그림 3. 기계모델의 등가회로

Fig. 3. Equivalent circuit of Charged Device Model .

2.2 정전기방전에 의한 다이오드 구조 파괴 해석

GaN 기반 백색 LED는 반도체 다이오드의 특성을 가지므로 정방향의 전압이 인가될 때 전류가 흐르고 역방향으로 전압이 인가될 때는 전류가 흐르지 않는 특성을 갖는다. 또한 일반적으로 반도체 기반의 발광 다이오드는 재질과 발광 파장에 따라서 인가되는 전압의 차이가 존재하게 되는데 대체로 발광 파장이 길수록 (적색계열) 발광이 시작되는 임계전압은 낮게 되고 발광 파장이 짧을수록 (청색계열) 발광이 시작되는 임계전압은 높게 된다.

전기적 특성을 나타내는 전류-전압 곡선 그래프에 의하면, A 영역은 전압 증가에 따라서 전류가 급증하는 영역으로서 200ohm 정도 범위의 저항특성을 갖으며 B 영역은 전압이 증가해도 전류가 거의 흐르지 않는 영역으로서 수 Mohm 정도 범위의 저항 특성을 나타내게 된다. C 영역은 B 영역과 동일하게 수 Mohm 정도 범위의 저항 특성을 나타내므로 역시 부도체의 특성을 갖는다. D 영역은 항복전압 이상의 역 전압이 인가되기 시작하면 역방향으로 $\sim \mu A$ 의 전류가 흐르기 시작하고 내압에 따라서 반도체 접합의 파괴가 진행하기 시작한다.

반도체 접합이 파괴되면 역방향으로 전압이 인가될 때 부도체의 특성이 파괴되어 작은 값의 항복 전압을 갖게 된다. 청색과 녹색의 발광 다이오드는 GaN 기반의 재질로 구성되어 있는데, GaN 기반의 발광 다이오드에 있어서는 웨이퍼 칩의 제조 시에 필연적으로 수반되는 전이 등의 결함이 존재하다가 발광 다이오드가 고온상태의 동작을 수행할 때 열 또는 전기적인 스트레스 등에 의하여 이와 같은 결함들의 핵이 진행성 결함으로 나타나면서 접합의 붕괴가 일어나게 되고 이에 따라 휘도의 감소, 소자 수명의 감소, Short성 불량 등이 발생하게 되는 것으로 생각된다.

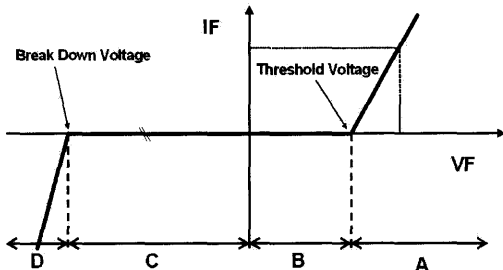


그림 4. 발광다이오드의 전류-전압 특성
Fig. 4. Forward and reverse I-V characteristics of the fabricated LED.

III. 실험

표면실장(SMD) 형 다이오드는 대량 생산 시 모듈 형태로 제작되므로 소형화가 가능하여 주로 휴대폰 등의 모바일 기기에 사용되고 있다. 본 연구에서 조사한 발광 다이오드는 사파이어 기판에 갈륨나이트라이드 기반의 구조를 갖는 MOVPE로 성장한 박막과 Ni/Au을 전극으로 하여 생산 수율 및 단가를 고려하여 그림2에 표시된 것 처럼 최적화한 구조로 제작되었다.

대량 제작된 표면실장형 발광 다이오드는 0.17mm 두께의 PCB 기판 위에 PCB 기판의 두께를 포함하여 0.4 mm의 두께를 가지고 길이 1.6mm, 폭 0.8mm의 크기로 발광다이오드를 실장 하였고 이를 통하여 SMD 발광 다이오드 모듈의 대량 생산 과정에서 발생하는 불량의 원인과 대책을 조사하였다.

표면실장형 발광 다이오드의 전류 전압 특성은 curve tracer를 이용하여 분석하였다. 우선 발광 다이오드 소자에 대한 저전류와 ESD의 상관관계를 파악하기 위하여 $V_F(0.5\mu A)$ 를 0.1V 간격으로 인가하고 2.0V에서 2.5V까지 ESD 관련 특성을 측정하였고 문제가 발생하지 않은 소자를 SMD 방법으로 패키징한 후 다시 이들 소자에 대한 ESD 측정을 재 실시하였다.

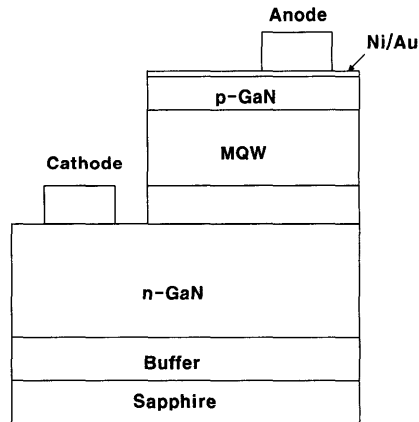


그림 5. 발광다이오드 구조
Fig. 5. Schematic diagram of a processed LED chip.

IV. 결과 및 고찰

발광 다이오드의 SMD 패키징 이후 불량이 발생한 모

든 모듈의 전선을 단락 시킨 후 발광 다이오드의 전기적 특성을 평가하여 평가 결과에 있어서 불량으로 나타난 소자 단품의 전류 전압 특성 및 그 불량 결과를 표 1. 에 표시했다.

표 1. 불량 발광다이오드의 전류 전압 특성
Table 1. Current-voltage characteristic of LEDs suffered from ESD.

모듈	$V_{F1}(V)$	$V_{F2}(V)$	$I_R(\mu A)$	결과
	$I_F = 20mA$	$I_F = 10\mu A$	$V_R=5V$	
1	2.99	0.80	115	Short성 불량
2	2.89	0.18	948	Short성 불량
3	2.89	0.35	732	Short성 불량
4	2.91	1.92	32	Short성 불량
5	1.80	0.05	5100	Short성 불량
6	2.98	0.22	6700	Short성 불량
7	2.91	1.27	6100	Short성 불량
8	2.92	0.35	6750	Short성 불량

발광 다이오드의 전류-전압 특성을 측정하여 발광 다이오드 고유의 특성을 나타내지 못하고 비정상적으로 동작하는 여러 형태를 그림 6. 에 표시했다. 불량 특성을 보이는 모든 발광 다이오드는 short 성 불량 특성을 나타냈고, 이 들 모두가 공정 중의 ESD에 의한 결과라고 판단된다.

특히 불량 특성을 보이는 모든 발광다이오드가 SMD 공정 후 패키징한 모듈 상의 동일 지점에 위치한 것으로 조사되어 SMD 공정상 발생한 ESD에 의한 문제일 가능성이 크다고 판단된다. 따라서 이와 같이 발생하는 ESD 문제는 SMD 공정의 전 후에 발생할 수 있는 원인을 도출하여 지속적으로 관리해야 한다.

Short성 불량의 발생에 대한 원인은 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째 원인으로는 ESD와 관련된 사항으로서 공정 중에 발생하는 마찰에 의해 발생하는 2kV 이상의 정전기가 발광 다이오드에 통전될 때 칩에 Damage를 주게 되어 발광 다이오드의 Junction 절연 파괴로 이어지는 Short성 불량이다.

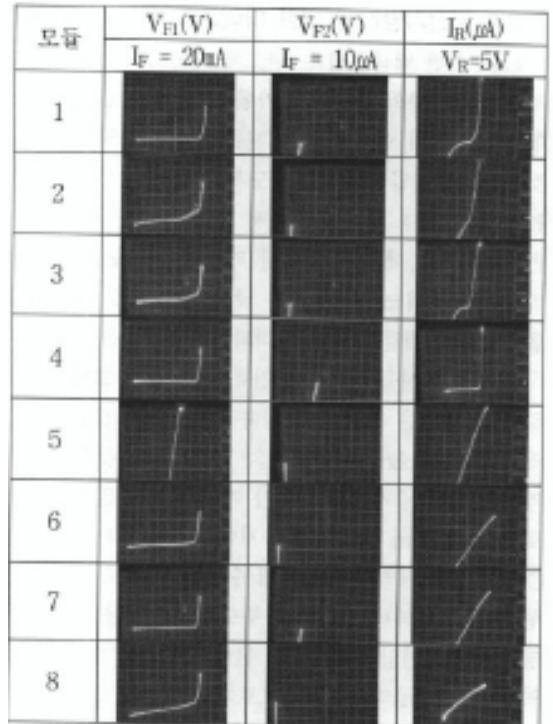


그림 6. 불량 발광다이오드의 전류 전압 특성
Fig. 6. Current-voltage characteristic of LEDs suffered from ESD.

두 번째 원인으로는 생산 공정 중에 발생하는 EOS(Electrical over stress)와 관련된 사항으로 소자 단품의 테스트 또는 점등 검사 등과 같은 측정 공정 중 계측기의 접지 불량으로 인하여 (-) 리드와 접지선 사이에 높은 전위차가 존재하는 상태에서 다이오드의 점등을 측정하는 경우와 Reflow 설비에서 접지 불량으로 인하여 IR 히터와 같은 장치에 유도전압이 발생하여 발광 다이오드에 누설 전류가 통전되는 경우, Manual solder 진행 시에 Tip의 접지가 불량하여 Tip과 인체 또는 Solder line 사이에 유도 전압에 의한 누설 전류(AC)가 발광 다이오드를 통해 통전되는 경우, 다이오드에 대해 Wave 및 Dipping solder 진행시 AC 유도전압이 발생하며 접지 불량 시에 발생된 유도 전압에 의한 누설전류가 다이오드에 인가되는 경우, 코일 형태의 Heater 설비를 사용하는 경우 Heater가 동작하면서 코일에 흐르는 전류에 의한 유도전압이 발생되어 다이오드에 영향을 주는 경우 등과 같은 상황에서 발생할 수 있다.

이와 같이 생산 공정 중에 발생하는 ESD를 방지하기 위한 해결책으로는 발광 다이오드 취급 시, 인체에 축적된 전하의 방전을 유도하기 위하여 작업자의 접지 밴드

(Earth band) 착용을 의무화하고, 마찰로 인하여 발생될 수 있는 정전기의 방전을 유도하기 위하여 작업 테이블의 접지 및 도전성 매트를 설치해야하며, 도전성 작업복 및 신발을 사용해야한다.

또한 소자의 운반 도중 마찰 등에 의해 발생할 수 있는 정전기의 방전을 유도하기 위하여 도전성 운반 용기의 사용이 필요하다. 그리고 작업 환경 설비 내에 Ionizer를 사용하여 작업 시 발생될 수 있는 정전기를 제거해야 한다. 한편, EOS를 방지하기 위해서는 작업 설비 Jig의 접지를 시행하여 다이오드 (-) 단자와 GND 사이의 전압이 Surge 포함하여 3volt 이하가 되도록 관리해야 하며, 측정 계측기의 접지 및 계측기 사용 시에 최대 정격을 넘지 않도록 주의가 요구된다.

또한 3단자 Connector로 구성된 전원선과 접지가 부착된 Multi tap을 사용하여 작업해야 하며 다이오드에 온도와 관련된 영향을 주지 않기 위해서 Reflow 작업 시 260°C 이하에서 3sec 이내에 작업을 실시하고 반드시 Preheating 온도를 준수하여야 한다. Hand soldering 작업 시에는 350°C 이하에서 3sec 이내 작업해야 하며 접지된 DC 24V 인두기를 사용해야한다. Hand soldering 진행 시에는 Lead frame이 가열된 상태에서 Stress 주지 않도록 해야 한다.

따라서 대량생산 되는 발광다이오드의 SMD 공정 전후에 발생하는 ESD에 의한 피해와 불량 발생에 영향을 미치는 요인은 공정 환경의 개선을 통하여 제거될 수 있으며 이를 통한 발광 다이오드의 ESD 신뢰성 향상과 공정 수율 향상을 얻을 수 있다.

V. 결론

사파이어 기판위에 성장한 갈륨나이트라이드 발광다이오드의 제작 기술이 비약적으로 발전하였고 이미 상업적으로 이용되고 있다고 하더라도 사파이어 기판의 절연 특성 및 소자의 고집적화와 극소형화에 따른 제작공정상 항상 불량을 발생 시킬 수 있는 환경에 노출되어 있기 때문에 ESD의 예방 대책이 요구된다.

특히 GaN 기반의 재질로 구성되는 청색과 녹색의 발광 다이오드는 웨이퍼 칩 제조 시 필연적으로 수반되는 전이 결합이 존재하다 발광 다이오드가 고온상태로 동작 시 열이나 전기적인 스트레스에 의한 진행성 결함으로

나타나면서 집합의 붕괴를 발생 시키고 결국 휘도의 감소, 소자 수명의 감소, short성 불량을 발생 시키게 된다.

본 연구에서는 대량생산 되는 GaN 기반 발광다이오드의 SMD 공정 전후에 발생하는 ESD에 의한 피해를 방지하기 위해서 생산 현장에서 획득한 자료에 대한 측정 및 고찰을 통하여 불량 발생에 영향을 끼치는 요인을 추출하고 이에 대한 해결 방안을 제시하였다. ESD 충격에 대비한 공정 환경 개선을 통하여 GaN 기반 발광 다이오드의 ESD 신뢰성 향상과 공정 수율의 향상을 얻을 수 있었다.

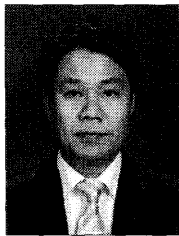
참고 문헌

- [1] S. J. Chang, C. H. Chen, P. C. Chang, Y. K. Su, P. C. Chen, Y. D. Jhou, H. Hung, C. M. Wang, and B. R. Huang, "Nitride-based LEDs with p-InGaN capping layer", IEEE Trans. Electron Dev., vol. 50, no. 12, pp. 2567-2570, Dec. 2003
- [2] S. Nakamura, M. Senoh, and T. Murakai, "p-GaN/n-InGaN/n-GaN double-heterostructure blue-light-emitting diodes", Jpn. J. Appl. Phys. Lett., vol. 32, no.1A-B, pp. L8-L11, 1993
- [3] S. Nakamura, T. Murakai, and M. Senoh, "High-brightness InGaN/AlGaIn double-heterostructure blue-light-emitting diodes", J. Appl. Phys., vol. 76, no.12, pp. 8189-8191, 1994
- [4] C. H. Chen, S. J. Chang, Y. K. Su, J. K. Sheu, J. F. Chen, C. H. Kuo, and Y. C. Lin, "Nitride-based cascade near white light emitting diodes", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 14, no. 7, pp. 908-910, 2002
- [5] 김성민, 주철원, 김경수, "반도체 부품의 ESD 불량 모델과 ESD감도 시험방법" 전자통신동향분석, pp. 20-33, 1991. 7.
- [6] T. Inoue, "Light emitting devices", Japanese Patent H11-040 848, 1999
- [7] S. J. Chang, C. H. Chen, Y. K. Su, P. C. Chen, J. K. Sheu, W. C. Lai, J. M. Tsai, C. H. Liu, and S. C. Chen, "Improved ESD protection by combining InGaIn-GaN MQW LEDs with GaN

- Schottky diodes", *IEEE Electron Dev. Lett.*, vol. 24, no. 3, pp. 129-131, Mar. 2003
- [8] S. J. Chang, C. F. Chen, S. C. Shei, R. W. Chuang, C. S. Chang, W. S. Chen, T. K. Ko, and J. K. Sheu, "Highly reliable nitride-based LEDs with internal ESD protection diodes," *IEEE Trans. Dev. mater. rel.*, vol. 6, no. 3, pp. 442-447, Sep. 2006
- [9] Y. K. Su, S. J. Chang, S. C. Wei, S. M. Chen, and W. L. Li, "ESD Engineering of Nitride-Based LEDs", *IEEE Trans. Dev. mater. rel.*, vol. 5, no. 2, pp. 277-281, June. 2005
- [10] T. C. Wen, S. J. Chang, C. T. Lee, W. C. Lai, and J. K. Sheu, " Nitride-Based LEDs With Modulation-Doped AlGa_N-Ga_N Superlattice Structure", *IEEE Trans. Electron Dev.*, vol. 51, no. 10, pp. 1743-1746, Oct. 2004
- [11] C. M. Tsai, J. K. Sheu, P. T. Wang, W. C. Lai, S. C. Shei, S. J. Chang, C. H. Kuo, C. W. Kuo, and Y. K. Su, "High efficiency and improved ESD characteristics of GaN-based LEDs with naturally textured surface grown by MOCVD," *IEEE Photonics Tech Lett.*, vol. 18, no.11, pp. 1213 - 1215, June 2006

저자 소개

최 성 재(정회원)

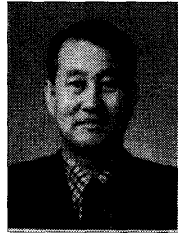


- 1981년 충남대학교 전자공학과 공학사
- 1985년 한양대학교 전자공학과 공학석사
- 2004년 명지대학교 전자공학과 공학박사
- 1988년 ~ 2008년 현재 경원대학교 IT

대학 전자 통신공학부 전자공학과 교수

<관심분야> 초전도 재료, 반도체 소자 제조공정기술, RF 회로해석 및 설계

이 원 식(정회원)



- 1970년 동국대학교 물리학과 이학사
- 1983년 건국대학교 물리학과 이학석사
- 1979년 ~ 2007년 경원전문대학 전기공학과 교수
- 2007년 2월 ~ 현재 경원대학교 교양대학 자율전공학부 교수

< 관심분야 > 반도체 소자 및 응용분야