

나노융합 신소재를 이용한 자동차용 LED 조명 방열 부품

최원석 <철원플라즈마산업기술연구원 책임연구원>

1 개요

1.1 LED 조명

LED(Light Emitting Diode)는 기본적으로 화합물 반도체 단자에 전류를 흘려서 P-N 접합 부근이나 활성층에서 전자와 홀의 결합에 의해 빛을 방출하는 소자로 백색 LED는 디스플레이용, 일반조명용, 자동차 헤드램프 등으로 실용화 되고 있으며, 그 용도가 점차 확대되고 있다. 하지만 Current와 Voltage를 인가하여 필요로 하는 특성을 나타내는 LED 소자는 인가되는 Power(Current*Voltage)를 열로 소비하는 특성을 가지고 있어, 모든 LED는 열이 잘 방출될 수 있는 제품의 구조, 형상을 구현하고 또한 재료의 가격 대비 열을 잘 방출 시켜주는 재료를 사용하고 있으며, 특히 인가된 Power의 80% 이상을 열로 소비하고 일부는 광으로 소비하는 LED의 경우, 열이 잘 방출되는 효율적인 구조를 가질 수 있다면 인가된 Power에서 광으로 소비되는 광효율을 높일 수 있다.

LED에 있어서 방열(Heat Dissipation)이란 LED 칩으로부터 발생된 열을 신속하게 외부로 내보내어 Junction Temperature를 낮은 수준으로 관리하는 것을 의미하며, LED 칩에서 발생된 열은 대

부분 칩 아래 방향으로 전달되어 빠져나가는 열경로(Thermal Path)를 통해 방출되도록 되어 있으며, 칩 위쪽으로는 빛이 방출되어야 하므로 방열 소재를 부착하는 것과 같은 대책을 세울 수 없다. 따라서 가능한 칩 아래 방향으로 열이 방출되도록 구조 및 소재를 이용하여 대책을 세우게 된다.

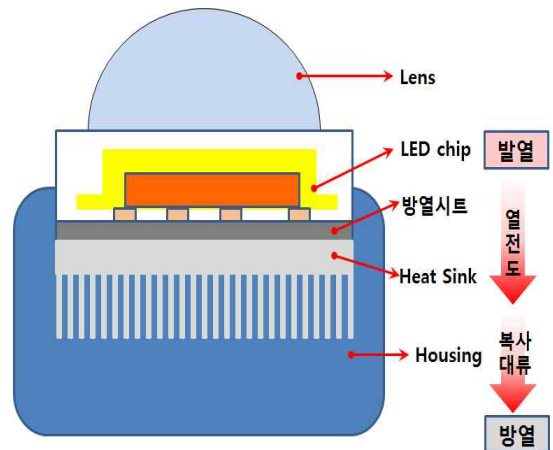


그림 1. LED 소자의 방열 메커니즘

일반적으로 열이 전달되는 주요 메커니즘은 전도, 대류, 복사라는 3가지 현상에 의해 전달된다. 전도는 분자진동에 의해, 대류는 분자 이동에 의해 전달되며

복사는 전자기파 형태로 전달되며, LED 시스템에 있어서도 모든 열 전달 메커니즘이 활용되며, 주로 패키지로부터 Heat Sink까지는 열전도에 의해, Heat Sink로부터 Ambient까지는 대류와 복사현상에 의해 대류와 복사 현상에 의해 대기중으로 열을 방출하게 된다.

LED 소자는 사용 에너지의 80% 이상을 열로 발산하고, 그 열에 의해 소자의 열화 현상에 의한 LED 소자의 수명, 출력 및 효율감소 현상이 나타나 소자의 Failure의 주된 원인이 열에 의한 것으로 나타나, LED 소자를 이용한 조명기기에서의 열(熱)관리 대책이 시급한 실정이다.

자동차 조명시스템으로의 LED 조명의 응용은 Head lamp, Turn signal, Fog lamp, Room lamp 와 계기판 Back light, HUD(Head Up Display) 등에 적용 가능하며 점차 사용이 확대되고 있다.

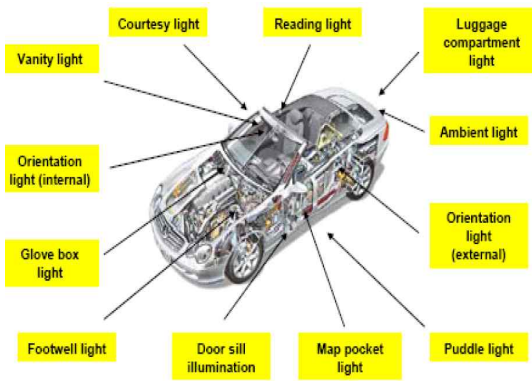


그림 2 LED 조명의 자동차 응용 분야

자동차에 LED 조명시스템을 성공적으로 적용하기 위해서는 방열설계 기술 및 방열 재료 경량화가 요구되는데 자동차의 엔진 열 및 히터, 냉각기 등의 영향에 의한 LED 조명 제품의 신뢰성 저하를 방지하기 위한 방열 구조 기술, LED 자체 발열에 따른 문제를 해결하기 위한 PCB, reflector, heat sink 등의 방

열설계 및 구조설계, 구동회로(SMPS) 설계 기술 및 LED 조명시스템의 중량 증가는 자동차 주행 효율의 저하를 가져오기 때문에 LED 조명시스템에서 가장 많은 중량을 차지하는 방열 재료의 경량화가 매우 중요 요소 기술로 적용되고 있다.

본 고에서는 자동차용 LED 전조등 방열부품으로 에너지 중 80% 이상을 열로 방출하는 고 출력 LED 조명이 장착된 자동차 헤드램프의 고방열, 초경량화를 위한 핵심 산업 소재의 개발현황 및 동향에 대하여 논하고자 한다.

1.2 자동차용 LED 조명의 방열의 필요성

자동차용 LED 헤드램프는 10,000시간 이상의 수명을 보장해야 하고 섭씨 영하 40℃와 영상 120℃ 사이에서 견디는 장점으로 인해 LED 램프를 사용하는 것이 할로겐·제논 램프보다 내구성과 안정성이 우수한 장점을 가지고 있으나, LED 조명의 특성상 80% 이상의 에너지를 열로 방출하고, 그 열은 밀폐된 공간에 축적이 되어 LED 소자의 수명을 단축을 초래하고 있어 LED 모듈의 열 방출 및 조명기기(하우징)의 방열대책이 절실히 필요하다.

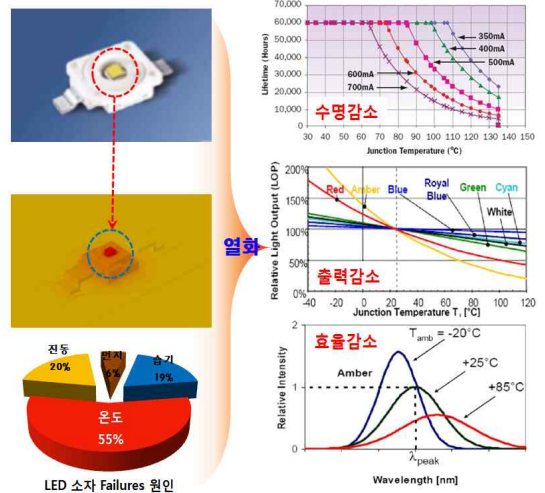


그림 3. LED 소자의 failures 원인

현재 LED 조명의 방열로는 알루미늄 소재의 히트싱크를 이용하여 열을 하우스 내부로 방출하고 있으나, 알루미늄 부품의 고중량, 높은 공정비용, 플라스틱 부품과의 낮은 접합성 등의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 고방열 고분자복합소재 개발이 필요하다.

국내외 고방열 고분자 복합소재 개발은 경량화를 위해 엔지니어링 플라스틱과 열전도성 필러를 복합화한 복합소재 개발이 진행되고 있으나, 1~3W/mK 이하의 현저히 낮은 열전도성을 나타내고 있어, 60W 급 고출력 LED 조명 엔진이 탑재된 헤드램프의 방열 부품으로는 부적합 실정이다.

경량화 방열소재에 사용되고 있는 대표적인 소재는 열전도성이 높은 탄소소재, Al₂O₃, BN 등의 세라믹 등과 고분자를 이용한 고분자 복합소재를 들 수 있으나, 열전도성 고분자 복합소재는 열전도도가 낮고, 고함량 필러 복합체 생산기술 부분 또한 취약해 사출성형용 방열소재의 대부분은 선진국으로부터 수입에 의존하고 있는 실정이며, 흑연 시트를 이용하여 열대체 소재로 사용하고자 하는 시도가 대부분 선진국의 선도기술에 의해 주도되어 왔기 때문에 원천특허 또한 대부분 선진업체들이 보유하고 있는 실정이다.

자동차, 반도체 및 LED 기술은 실생활에 밀접한 관련이 있고 성장 가능성이 매우 높은 분야로서 특히 LED의 경우는 모바일, TV 등의 BLU로의 응용을 넘어 차세대 조명으로서도 큰 관심을 받고 있어 고효율 패키지를 위한 방열 소재 기술 개발이 시급히 이루어져야 할 상황이다.

이에 방열용 고열전도성 필러 소재의 개발이 절실히 필요하며, 이를 방열특성을 유지한 상태에서 조명기구물과 같은 대형 사출물의 사출성형이 가능한 열전도성 핵심소재 개발이 절실히 요구되고 있다.

2. 나노융합 신소재 방열 기술

2.1 자동차용 LED 조명 방열 기술

자동차용 LED 헤드램프에 적용되는 대표적인 방열부품으로는 LED 소자의 열을 직접 접촉하여 배출하는 히트싱크(Heat sink)를 들 수 있으며, 기존 헤드램프의 히트싱크는 알루미늄 소재를 다이캐스팅 공정을 통하여 성형하고 있으나, 알루미늄 소재는 경량 금속에 속하나 자동차 부품의 경량화를 위해 대체되어야 할 부품 중 하나이다. 또한 금속소재의 히트싱크와 플라스틱으로 구성된 타 부품과의 낮은 접촉 접합성으로 인해 접촉 부위에서 열이 집중되는 현상이 나타나게 된다.



그림 4. 자동차용 LED 헤드램프 방열기구 문제점

또한 알루미늄 히트싱크는 제조 공정이 다이캐스팅 또는 압출 공정으로 제조공정에서 높은 에너지 사용량 및 낮은 생산성으로 인해 높은 공정비용을 발생하고 있어, LED 헤드램프 모듈의 가격상승을 주도하고 있는 실정이다.

자동차용 LED 헤드램프의 하우징은 현재 방열성 능이 전혀 부여되지 않은 폴리프로필렌(탈크 30% 보 강 PP)을 사용하여 제조되고 있어, 밀폐 구조를 가진 헤드램프의 열배출에 취약한 부품으로 열전도성이 부 여된 소재 개발에 대한 수요가 증가하고 있다.

헤드램프의 하우징은 부품 부피가 매우 크기 때문 에 열전도성 필러가 첨가될 경우 낮은 흐름성(사출 시)으로 인해 사출성형이 어려운 단점을 가지고 있 어, 사출성형이 가능한 방열소재의 개발이 절실히 요 구되고 있다.

2.2 고열전도성 나노융합 신소재

탄소계열의 소재 중에서 특히, 그래핀은 탄소 원자 들이 육각형 구조로 공유결합으로 연결된 단원자층의 2차원 구조의 소재로, 전류전달속도는 실리콘보다 100배 이상 빠르고, 구리보다 100배 이상의 전류밀 도를 가지며, 다이아몬드보다 2배 이상의 우수한 열 전도도를 가지며, 구조적으로 화학적으로 안정하며 높은 광 투과도를 갖는 것으로 알려져 있다. 특히 그 래핀은 열전도도가 5,000W/mK 이상으로 매우 높 아 방열 소재로 각광을 받고 있으며, 투명전도성 소 재, 전자파차폐 소재, 플렉시블 소재와 같은 신소재로 도 활용가치가 매우 큰 소재로 널리 알려져 있다.

최근 철원플라즈마산업기술연구원은 RF 열플라즈 마 기술을 이용하여 그래핀 표면에 나노금속물질을 입힌 새로운 소재인 그래핀-메탈 융합체를 개발하여 국내 특허 등록을 마쳤다. 이 기술은 그래핀과 나노크 기의 메탈(Ni, Sn, Ag 등)을 RF 열플라즈마 장치에 투입하여, RF 열플라즈마에 의한 높은 열에 메탈을 기화시킨 후, 급속한 냉각 기술에 의한 입자 재성장 기술에 의하여, 그래핀 표면에 금속 입자를 성장시켜 그래핀의 탄소와 금속이 결합시켜 성장시키는 공정으 로 되어 있다. 특히 이 기술은 Ni, Sn등 금속 및 Si, Zr등 다양한 소재를 그래핀 상에 성장시킬 수 있으며,

그 밀도뿐만 아니라 크기도 수십 나노에서 수백 나노 사이즈로 제어할 수 있다.

표 1. 그래핀의 특성

성질	특성	그래핀	비고
전기적 성질	전하이동도 [cm ² /V · sec]	200,000	Si의 100배, Cu의 150배
	최대전류밀도 [A/cm ²]	~5.0x10 ⁸	Cu의 100배
	면저항 [Ω · □]	< 50	< Cu의 35%
	band-gap [eV]	0 ~ 0.3	Si 1.11
기계적 성질	강도 [Gpa]	1,100	다이아몬드의 2배
	유연성 / 신축성	원면적의 20%	ITO는 1%미만
열적 성질	열전도율 [W/mK]	5,000	다이아몬드의 2배
광학적 성질	투명도	98% ^① 층	ITO의 80% 이상

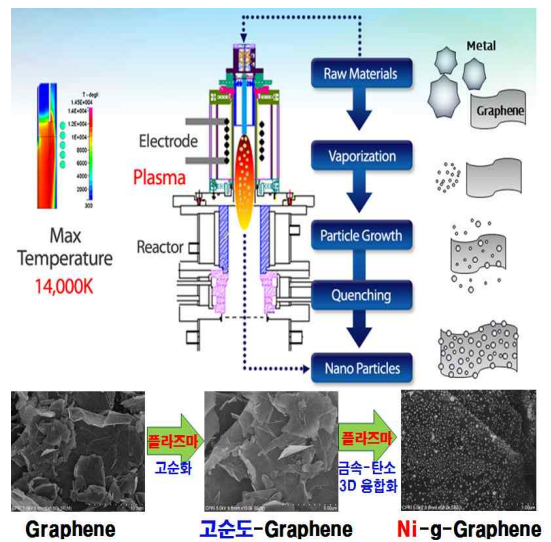


그림 5. RF 열플라즈마 기술을 이용한 그래핀-메탈 나노융합 신소재 제조 공정

방열소재로서의 그래핀-메탈 융합체는 방열부품을 제작하였을 때, 메탈이 그래핀 입자들 간의 열전달 매개체 역할을 한다. 즉 메탈이 없는 경우에 서로 단절되어 있는 나노 또는 마이크로 그래핀의 옆면(edge) 또는 표면(surface)에서의 열저항은 매우 크다. 이때 표면 및 옆면에 붙어 있는 금속 입자는 공기층에 비하여 높은 열전도 특성을 가지면서 열전달 매개체의 역할을 한다. 즉 그래핀 소재와 소재 사이의 공간을 채워주어 공극에 의한 열저항을 없애 준다.

2.3 그래핀-Ni 나노융합 신소재의 기능화 및 복합화

RF 플라즈마 시스템을 이용하여 그래핀-Ni 나노융합 신소재를 합성하고 나노소재의 분산성 및 고분자와의 복합 상용성을 부여하기 위하여 Dopamine 처리를 하였다.

Dopamine은 그래핀과는 반응을 하지 않지만, 그래핀 표면에 융합된 금속과의 산화반응을 통하여 금속과 선택적으로 반응 및 기능화 하여 그래핀-금속 융합체 전체에 기능화된 효과를 볼 수 있다.

그림 6에서 나타난 바와 같이 그래핀-Ni 융합체에 도파민을 기능화할 경우 그래핀 표면과는 반응을 하지않고 Ni 입자와의 반응을 통하여 코팅된 모습을 볼 수 있다. 이를 이용하여 Epoxy 매질에 분산하여 복합체를 sheet를 제조한 경우 도파민으로 기능화된 복합소재에서 그래핀의 배열정도가 매우 우수함을 나타내고 있다. 열전도성 소재의 배열은 열이 이동할 수 있는 채널을 형성하게 되므로 고배열 상태에서는 수평 방향의 열전달효과가 크게 증가하게 된다.

시료에서 도파민을 처리한 복합소재는 도파민을 처리하지 않은 시료보다 열전도도(수평방향)가 50% 이상 증가하는 결과를 얻을 수 있었다.

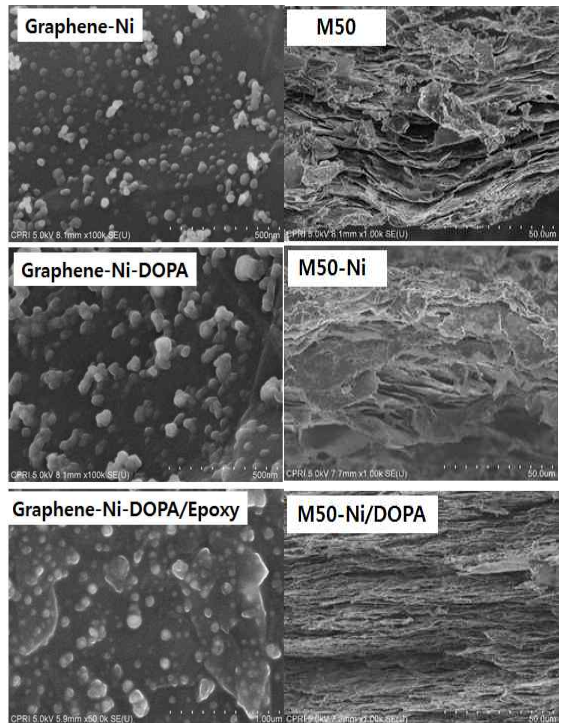


그림 6. 그래핀-메탈 신소재 표면기능화 및 복합화

2.4 자동차 조명용 사출성형 방열부품

경량화 방열소재에 사용되고 있는 대표적인 소재는 열전도성이 높은 탄소소재, Al_2O_3 , BN 등의 세라믹 등과 고분자를 이용한 고분자 복합소재를 들 수 있으나, 열전도성 고분자 복합소재는 열전도도가 낮고, 고함량 필러 복합체 생산기술 부분 또한 취약해 사출성형용 방열소재의 대부분은 선진국으로부터 수입에 의존하고 있는 실정이다.

또한 흑연 시트를 이용하여 열대체 소재로 사용하고자 하는 시도가 대부분 선진국의 선도기술에 의해 주도 되어 왔기 때문에 원천특허 또한 대부분 선진업체들이 보유하고 있는 실정이다.

고방열 사출성형의 열가소성 패키지 소재는 현재 5W/mK급 수준 제품이 시장에서 사용되는 상황으로 고방열 열가소성 패키지 소재의 중요한 요소는 기존 금속을 대체할 수 있는 물성이 필요하다. 국내기업은

열전도성 소재를 이용한 열전도성 플라스틱 5W급 열전도 복합 수지를 개발하였으나 낮은 열전도율로 시장 적용이 어려운 상황이며, 현재 열전도성 수지 및 고열전도성 elastomer 개발은 미비한 상황이다.

진행하고 있으나 높은 방열 수준만으로는 시장 진입에 어려움이 있다. 금속의 물성, 가공성 및 방열특성을 갖는 물질 개발시 시장 진입이 매우 용이할 것으로 판단된다.



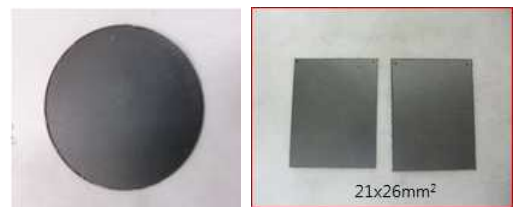
소재	알루미늄	복합소재
열전도도	140 W/mK	1.8 W/mK
중량	125 g	68 g
단면적	42.2 cm ²	49.1 cm ²
방열특성	100%	95%

그림 7. 자동차용 고분자 복합소재 사출성형 방열부품

CoolPolymers社は 기존의 메탈 또는 세라믹을 LCP, PA46, PC, PPS등의 다양한 플라스틱 수지로 대체하려는 움직임. Teijin社は 고열전도성 탄소 섬유 필러 「Raheama」의 시장에 출시하여 저열팽창성, 고강성으로 전자, 자동차 분야에 응용하고 있는 실정이며, 사출 성형 가능한 열전도성 수지 및 Elastomer 개발 진행, 금속이나 세라믹을 배합해 열전도성을 높인 수지를 출시했으나 열전도율(W/m·K)의 값은 모두 한 자리 대 값에 머물러 있는 실정이다. 해외 선진 업체는 주로 고방열 필러 위주로 연구

2.5 자동차 조명용 방열 시트

그래핀-메탈 융합체의 신소재가 방열소재로서의 사용 가능성을 확인하기 위하여, 분산-압착공정 기술을 적용하여 heat-spreader를 제작하였다. 방열소재로서의 그래핀-메탈 융합체는 heat-spreader로 제작하였을 때, 메탈이 그래핀 입자들 간의 열전달 매개체 역할을 한다. 즉 메탈이 없는 경우에 서로 단절되어 있는 나노 또는 마이크로 그래핀의 옆면(edge) 또는 표면(surface)에서의 열저항은 매우 크다. 이때 표면 및 옆면에 붙어 있는 금속 입자는 공기층에 비하여 높은 열전도 특성을 가지면서 열전달 매개체의 역할을 한다.



소재	열전도도 [W/mK]	열확산도 [mm ² /s]
G(H25)/Sn (1:1)	662.01	113.30
Reference (Graftech社 SMPL)	602.83	272.50

그림 8. 제작한 heat-spreader 시편(50∅)

제작한 시편의 열전도도를 측정된 결과, 기준 시편으로 삼고 있는 Graftech사의 시료보다 좋은 수평 열전도도 662W/mK를 얻었다.

3. 결 론

LED 조명은 에너지효율, 환경친화성, 장수명 등 많은 장점을 가지고 있어, 정책적으로 사용을 권장하고 있다. 그러나 LED 조명의 장점을 극대화하기 위해서는 수명과 효율을 저해하는 자체 발생 열을 잘 방열시켜야 한다. 최근에 방열소재로서 우수한 열전도도와 열확산도를 갖는 탄소계열 소재, 특히 그래핀이 집중 조명을 받으면서 기존의 저 열전도도 소재를 대체할 수 있게 되었다. 특히 그래핀 표면에 열전도도가 높은 나노 금속을 플라즈마 공정 기술로 융합한 그래핀-금속 융합체를 이용한 방열 소재가 개발되면서 단순 그래핀 소재만을 사용한 방열 제품의 내부 공극을 금속체가 필러로서 대체할 수 있게 되면서 열전도도가 향상된 그래핀-메탈 heat-spreader의 개발을 가능하게 하고 있어, 가까운 미래에 그래핀을 이용한 방열소재가 LED 조명의 열문제를 해결할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

[1] 김성인, “나노 메탈-그래핀을 이용한 LED 방열소재”, 차세대 LED 신소재, 신광원 기술 세미나, 2012.
 [2] S. Choi, K. Lee, M. Sin, B. Son, S. Song, S. Kim, “Production of Silicon Nano Powder Using the RF Thermal Plasma Torch”, ENGE 2012, NAP-0201, 2012.

[3] 이규항, 신명선, 최선용, 김정현, 김중길, 조광섭, 김성인, “나노 메탈-그래핀 융합 신소재를 이용한 방열시트 연구”, 전기전자재료학회, 2012 추계학술대회, PB-64, 2012.
 [4] 임현규, 김주현, “전자소재용 방열 복합 재료의 개발 및 기술 동향”, NICE 제29권 제5호, 2011.
 [5] Steven Kim et al, Submitted to ICAE Jeju, 2011.
 [6] MK Hwang, Steven Kim, JH Kim, KT Kwon, JH Kim, JY Jeong, IT Kim, GS Cho, “Effect of Thermal Dissipation by Adding Graphene Materials to Surface Coating of LED Lighting Module”, The 4th CJK Lighting Conference, pp. 385-391, Sep. 2011.
 [7] 황명근, 정희석, 이세현, 최석준, 이민진, 이정근, “LED광원에 적용되는 부품·소재 연구개발 동향”, 한국조명전기설비학회 2013 추계학술대회 논문집, pp. 98-99, 2013. 11.
 [8] 강병하, 다공성 물질을 이용한 전열촉진기술개발 보고서, 과학기술부.
 [9] 지식산업정보원, 한국을 이끄는 핵심부품·소재산업 R&D 분석-LED·OLED·그래핀 시장동향과 발전 전망.
 [10] 이우성, “방열부품·소재산업 기술현황 및 향후 발전전망” 세미나, 2013.

◇ 저 자 소 개 ◇



최원석(崔元碩)

1975년 3월 16일생. 2001년 8월 경희대학교 기계시스템공학부 졸업. 2003년 8월 경희대학교 화학공학과 졸업(석사). 2011년 2월 경희대학교 화학공학과 졸업(박사). 2003년 8월~2005년 9월 한국타이어(주) 중앙연구소 연구원. 2011년 8월~2013년 4월 (재)대구 테크노파크 나노융합실용화센터 선임연구원. 2013년 8월~현재 (재)철원플라즈마산업기술연구원 책임연구원.
 주요관심분야 : 그래핀, 나노소재, 나노바이오, 방열소재, 플라즈마, LED, OLED, 기타

E-mail : wschoi@cpri.re.kr