

지도교수 김우재 교수

소 속 공과대학 / 화학신소재공학과

CONTACT

진선미관 206호

나노재료 표면공학연구실

02-3277-4327

홈페이지 <http://www.kimgroup.org>

Keywords

탄소나노소재, 촉매·표면공학, 에너지 및 바이오 신소재 및 시스템

나노재료 표면공학연구실

Nanomaterials Surface Engineering Laboratory



교수명 김우재 교수

학력(학위) 서울대학교 화학공학과 공학사
서울대학교 화학공학과 공학석사
서울대학교 응용화학부 공학박사

소 속 공과대학 / 화학신소재공학과

연락처 02-3277-4327

(교내 / wjkim1974@ewha.ac.kr)

● 우리 연구실은?

연구실에서 집중하고 있는 연구 내용은?

우리 연구실은 탄소나노소재(탄소나노튜브 및 그래핀)의 전기적, 광학적, 물리적 특성을 제어, 조절하여 에너지 분야, 전자소자 분야, 바이오메디칼 분야에 적용하는 연구를 수행하고 있습니다. 예를 들어 탄소나노튜브는 금속성 탄소나노튜브(구리 등의 전도성 금속과 성질이 동일)와 반도체성 탄소나노튜브(실리콘 등의 반도체 물질과 성질이 동일)들이 존재하는데 현재 탄소나노튜브 생산공정들은 이들의 혼합물들만을 제조할 수 있습니다. 때문에, 실제 응용에 제약이 있습니다.

우리 연구실은 화학적 방법을 사용하여, 탄소나노튜브 혼합물로부터 금속성 및 반도체성 탄소나노튜브를 분리하는 다양한 기술들을 보유하고 있으며, 이를 태양전지 주 소재인 실리콘을 대체하는 신소재로 활용하거나, 투명 유연 전자소자의 전도성 고분자와 혼합하여 성능개선에 활용하거나, 생체 내로 주입, 암치료용 광열소재로 활용하는 연구를 수행하고 있습니다.

산학협력 희망 분야는 무엇인지?

탄소나노튜브를 이용하여(주소재로 활용하거나, 또는 보조소재로 활용) 기존 제품의 성능을 획기적으로 개선할 수 있는 분야에 산학협력을 희망하며, 구체적으로 고분자 기반 투명유연소자, 차세대 태양전지(투명 포함), 배터리용 전극, 전자파 차폐용 소재, 나노 의료 치료제 분야의 산업체와 공동 연구를 한다면 큰 효과를 가져올 수 있으리라 생각합니다.

사업화 가능분야는 어떤것인지?

탄소나노튜브 분리기술 사업화(대량생산화), 나노 의료 치료제(광열소재) 사업화, 차세대 태양전지 사업화 등이 가능하리라 생각합니다.

● 연구활동

» 주요 연구내용

탄소나노튜브/ 그래핀 정제기술 개발	탄소나노튜브는 금속성 또는 반도체성을 갖는데, 특히 반도체성 CNT는 태양전지, 바이오센서, 전자소자 및 에너지소자에서 기존 반도체 물질을 대체할 수 있는 재료로 활용될 수 있음. 본 연구팀에서는 표면반응을 이용, CNT 혼합물로 부터 고순도 반도체 CNT를 분리해 내는 연구를 진행 중에 있으며, 또한 다른 탄소나노재료인 그래핀의 고순도 분리 연구도 같이 진행하고 있음 (고순도 대용량 반도체 CNT 분산 기술 개발 - Nanoscale 표지 논문 선정)
탄소나노재료기반 차세대 태양전지개발	밴드갭이 다른 반도체 CNT들을 각각 분리한 뒤 적층하면 태양광 파장의 대부분을 흡수, 변환할 수 있으며, 또한 모든 층이 동일 재료(탄소)로 이루어져 있어 Exciton Energy Transfer 메커니즘을 통한 전자-홀 이동이 가능하여 고효율 저비용 차세대 태양전지 개발이 가능함. 본 연구팀은 그래핀-탄소나노튜브 기반 차세대 태양전지 개발에 관한 연구를 진행하고 있음 (Nature Materials 지에 게재된 내용 중앙일보에 소개)
열전소자, 고에너지물질 개발	탄소나노튜브의 열전도도는 지구상에서 열전도도가 제일 높은 것으로 알려진 다이아몬드보다도 약 1.5배 정도 높는데, 이를 활용, 탄소나노튜브 표면에 고에너지 폭발물질을 결합하여, 폭발물질의 폭발 속도를 100배 이상 향상시킨 나노 폭발을 제조하는 연구를 진행 중에 있으며, 이 때 발생하는 열전자를 이용, 에너지 발생 소자에 응용하는 연구를 진행 중에 있음
암치료용 광열나노소재개발	탄소나노튜브/Dextran 복합체는 정상세포를 제외한 염증세포(암세포)에 선택적으로 흡착하며, CNT에 레이저를 조사하면 순간적으로 60도 이상의 열을 발생함을 이용, 염증세포에 복합체를 결합시키고, 인체 외부에서 레이저를 조사, 염증세포만 선택적으로 태워 제거하는 연구를 진행 중에 있음 (중앙일보에 연구내용 소개 / Advanced Healthcare Materials 표지논문 선정-2016.05)

» 논문

2016	Highly selective photothermal therapy by a phenoxylated dextran-functionalized smart carbon nanotube platform	Advanced Healthcare Materials
	Enhanced Energy Release from Homogeneous Carbon Nanotube-Energetic Materials Composite	Science of Advanced Materials
2013	Highly Efficient Exfoliation of Individual Single-Walled Carbon Nanotubes by Biocompatible Phenoxylated Dextran	Nanoscale
2012	Design of Polymer-Carbon Nanohybrid Junction by Interface Modeling for Efficient Printed Transistors	ACS Nano
	Manipulation Electron Transfer between Single-Walled Carbon Nanotubes and iazonium Salts for High Purity Separation by Electronic Types	Chemistry of Materials
2010	Exciton antennas and concentrators from core-shell and corrugated carbon nanotube filaments of homo-geneous composition	Nature Materials
2009	Fabricating Genetically Engineered High Power Lithium Ion Batteries Using Multiple Virus Genes	Science

» 논문 연구내용

탄소나노튜브/ 그래핀 정제기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 탄소나노튜브 혼합물로 부터 금속성 및 반도체성 탄소나노튜브의 분리기술 개발 원심분리, 젤 크로마토그래피 등 대용량 탄소나노튜브 분리기술 개발 고순도, 대용량 저비용 탄소나노튜브 분산제 개발 액상 그래핀 분산용액 개발
탄소나노재료기반 차세대 태양전지개발	<ul style="list-style-type: none"> 반도체 탄소나노튜브로 기존 실리콘을 대체하는 차세대 태양전지 개발 그래핀 도핑 공정 개발을 통한 투명 전극 개발 탄소나노재료 일체형 투명/유연 태양전지 개발
열전소자, 고에너지물질 개발	<ul style="list-style-type: none"> 금속성 탄소나노튜브와 고에너지물질(폭약 포함)을 친밀 결합 반응기구 개발 친환경 차세대 고에너지물질 복합체 화학 개발 탄소나노재료 기반 열전 에너지 생산 소재 및 소자 개발
암치료용 광열나노소재개발	<ul style="list-style-type: none"> 생체친화성 탄소나노튜브 소재 대량 생산 기술 개발 탄소나노튜브의 광열효과 극대화 기술 개발 및 이를 활용한 만성염증 및 동맥경화 치료제 개발 탄소나노튜브 기반 암치료용 광열소재 개발

» 주요 논문

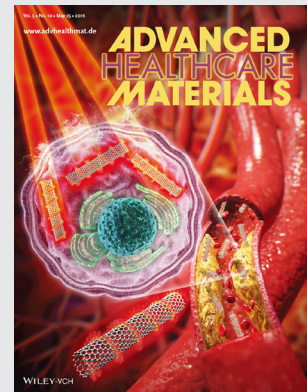
• 탄소나노튜브 기반 광열치료제 개발

학술지명 (I.F.) Advanced Healthcare Materials (I.F. : 5.797)

논문제목 Highly selective photothermal therapy by a phenoxyated dextran-functionalized smart carbon nanotube platform

기술개요

- 탄소나노튜브/Dextran 복합체는 정상세포를 제외한 염증세포(암세포)에 선택적으로 흡착함
- 탄소나노튜브는 기존 광열치료제로 사용되는 금 나노입자보다 최대 9배의 높은 광열치료 효과를 보임
- 탄소나노튜브 복합체에 레이저를 조사하면 순간적으로 60도 이상의 열을 발생시키며, 이로 인해, 염증세포만 선택적으로 태워 제거할 수 있음을 확인함
- 탄소나노튜브 중, 레이저 파장의 빛을 극대화 해서 흡수하는 탄소나노튜브를 분리, 정제하는 연구를 수행 중에 있으며, 성공 시, 현재 광열치료 효과보다 500% 증가된 광열치료 효과를 보일 것으로 예상함
- Advanced Healthcare Materials 대표 표지논문으로 선정됨 - 2016.05



• 저비용 고효율 탄소나노튜브 분산제 개발

학술지명 (I.F.) Nanoscale (I.F. : 7.76)

논문제목 Highly Efficient Exfoliation of Individual Single-Walled Carbon Nanotubes by Biocompatible Phenoxyated Dextran

기술개요

- 탄소나노튜브는 활용도가 높으나, 수용액 및 유기용매 등에 분산하기가 어려움
- 본 연구에서는 저비용 고효율로 높은 퀄리티의 탄소나노튜브 분산액을 개발하는 연구를 진행하고 있음
- 대표적으로 본 연구실에서 개발한 Phenoxyated Dextran은 CNT를 수용액 상에서 저비용 고효율로 분산시킬 수 있음을 확인하였으며, 이를 바이오 치료용 탄소나노튜브 개발에 활용할 수 있음

병원리포트 의학과 만난 첨단 신소재

암 치료용 탄소나노튜브, 62만 분의 1 값으로 생산 길 열려

플러탄 신소재인 탄소나노튜브가 암치료에 적 극 활용될 전망이다. 탄소나노튜브는 전자소 지용 쓰이는 물질. 하지만 특정 영역에 파장의 빛을 흡수·발산하는 성질이 있어 이를 이용한 암치료의 가능성이 연구돼 왔다. 문제는 생산 비용이 너무 비싸다는 점이었다. 그런데 국내 연구진이 탄소나노튜브의 용해력을 획기적 으로 높이는 공정을 개발해 암치료 상용화 시기를 앞당기게 됐다.

가천대 한경희-차광희교과 김우재 교수 연구 팀은 생체에 적합한 고순도의 탄소나노튜브 를 저가로 대량생산할 수 있는 공정을 개발했 다고 최근 밝혔다. 탄소나노튜브를 이용한 암 치료 방식은 특효이다. 이 물질이 흡수하는 빛 의 양은 400~400nm 파장. 종양세포는 이 양에 흡수되지 않는다는 점이다. 이런 성질을 이용해 의사는 침묵 암세포에 탄소나노튜브 를 주입하고, 고유광역대의 빛을 쬐면, 이를 게 하면 탄소나노튜브의 온도가 올라가 암의 이온만 타워 제거할 수 있는 것이다. 현재 이런 방식을 이용해 쥐의 위암세포를 제거하는 데까지 성공했다. 생쥐만 사람을 대 상으로 한 연구는 진행이 없었다. 탄소나노튜브 를 직접 암세포에 넣는 방법이 불편한 데다 생산 비용이 비싸기 때문. 지금까지는 탄소나노튜브 를 스펙트럼 도량인 DNA에 결합시켜 암 세포에 주입해 왔기 때문에 생산단가가 비쌌다. 하나 람 연구는 데 드는 비용이 20만 원에 이른다. 김우재 교수는 DNA 대신 다당류인 헤나린

“덱스트란(Dextran)”을 사용했다. 덱스트란은 사람수유의 사탕을 세균으로 분해해 만든다. 김 교수는 “1회 사용하는 데 4mg(1g은 100만 분의 1)만 사용되고, 생산비용이 100만 원/1kg도 채 안 돼서”고 말했다. 1kg을 생산하는 데 드는 비용이 100원에 불과하다. 기존 DNA 방식의 100 배 정도 100배이다. 김 교수는 “DNA를 사용 할 때와 같은 수준의 고순도 탄소나노튜브를 대량 으로 만들 수 있어 탄소나노튜브를 이용한 암 치료 상용화가 앞당겨질 것”이라고 말했다.

연구 결과는 영국왕립학회(RSC)에서 발 간하는(Nanoscale)지 온라인에 게재했다. 논문은 가천대 한경희교과 김우재 교수(Nanoscale) 지 표지논문(First Cover Article)으로 선정 되었다. **병원리포트 기자 김희경@kangnam.co.kr**

» 특허

등록연도	발명의 명칭	특허권자	특허등록번호
2017	폴리디메틸실록산 필름을 이용한 단일벽 탄소나노튜브의 분리방법	가천대학교 산학협력단	10-1744052 (등록)
	탄소 나노 튜브 표면에 결합된 작용기 개수의 측정 방법	가천대학교 산학협력단	10-1744051 (등록)
2015	표적 특이적 광열 치료용 조성물	가천대학교 산학협력단	10-1556144 (등록)
	고분자로 랩핑된 반도체성 탄소 나노 튜브의 제조 방법, 이에 의하 여 제조된 고분자로 랩핑된 반도체성 탄소 나노 튜브 및 이를 포함 하는 반도체성 탄소 나노 튜브 조성물	가천대학교 산학협력단	10-1548008 (등록)
2014	탄소나노튜브를 이용한 태양전지	가천대학교 산학협력단, (주) 삼성전자	10-2012-0097267 (출원)

등록연도	발명의 명칭	특허권자	특허등록번호
2014	탄소나노튜브 분리 방법	가천대학교 산학협력단, (주) 삼성전자	10-2012-0095169 (출원)
2013	METHOD OF SEPARATING CARBON NANOTUBES	가천대학교 산학협력단, (주) 삼성전자	13973985 (출원)

» 특허 연구내용

표적 특이적 광열 치료용 조성물	본 발명에서는 치료 대상 세포에만 효과가 미치며, 그 외의 세포에는 손상을 주지 않는 표적 특이적 광열 치료용 조성물을 개발하기 위하여 예의 노력한 결과, 텍스트란이 코팅된 탄소나노튜브를 이용함으로써, 치료 대상 세포만 선택적으로 사멸시킬 수 있음을 확인하였음
고분자로 랩핑된 반도체성 탄소 나노 튜브의 제조 방법	본 발명은 고분자로 랩핑된 탄소 나노 튜브 의 제조 방법, 이에 의하여 제조된 고분자로 랩핑된 탄소 나노 튜브 및 이를 포함하는 탄소 나노 튜브 조성물 에 관한 것
SEPARATION OF NANOSTRUCTURES	The present invention generally relates to the separation of one or more populations of nanostructures from one or more other populations of nanostructures based upon differences in density. An overall mixture of very similar or identical nanostructures may be exposed to a set of conditions under which one population of the nanostructures is affected differently than the other, allowing separating on the basis of differences in density

» 주요 특허

• 탄소나노튜브 분리기술

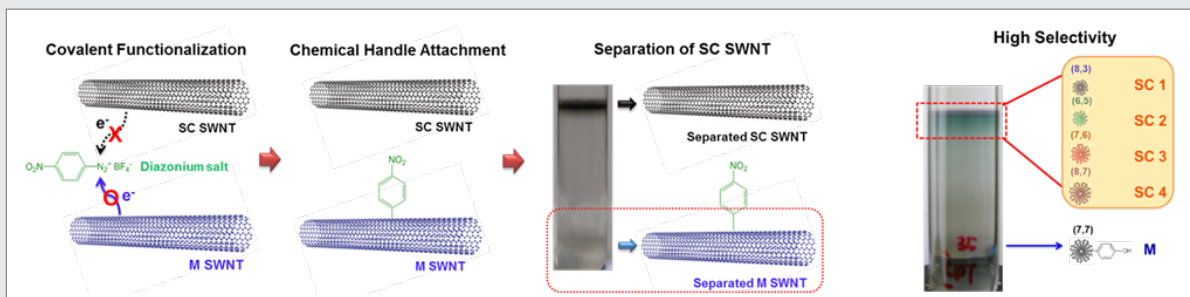
등록번호 US8,568,685B2 (출원일: 2008.11.21. / 등록일: 2013.10.29)

대표연구자 김우재 교수 (가천대학교)

적용분야 탄소나노튜브 소재 / 태양전지 / 리튬배터리 전극 / 전자파 차폐

기술 개요 및 필요성

- 분리하고자 하는 특정 탄소나노튜브에 반응을 통해 작용기를 부착시킨 후, 작용기의 특성을 이용하여 특정 탄소나노튜브를 분리하는 방법임
- 기존 탄소나노튜브 분리 방법에 비해 저비용 대용량 분리가 가능함
- 이 방법을 이용하면, 전도도가 높은 금속성 탄소나노튜브 및 실리콘 대체 가능한 반도체성 탄소나노튜브 등을 각각 분리, 해당 application 에 적용할 수 있음
- 이를 통해, 기존에 탄소나노튜브의 순도 문제로 고성능 발현이 어려웠던 각종 application에서 탄소나노튜브를 활용할 수 있음



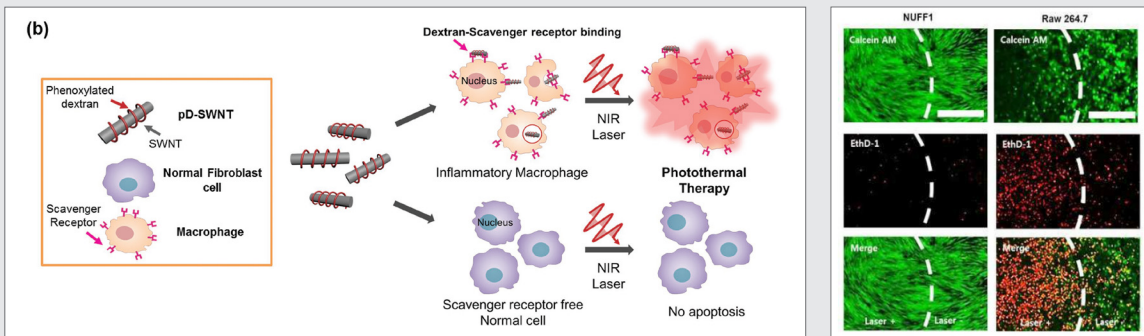
» 주요 특허

• 표적 특이적 광열 치료용 조성물

등록번호 10-1556144 (출원일: 2015.03.14. / 등록일: 2015.09.22.)
 대표연구자 김우재 교수 (가천대학교 산학협력단)
 적용분야 표적 특이적 광열 치료용 조성물 / 조성물을 이용한 광열 치료 방법

기술 개요

- 근적외 영역의 빛을 흡수하여 열을 발생하는 물질을 고열 요법을 요하는 위치에 축적시키고 빛(적외선 등)을 조사하여 치료하는 광열 치료방법의 개선
- 덱스트란이 코팅된 탄소나노튜브를 이용하여 치료 대상 세포에만 효과가 미치며, 그 외의 세포에는 손상을 주지 않는 표적 특이적 광열 치료용 조성물 및 이를 이용한 광열 치료방법



기술의 필요성

- 원하는 표적세포인 염증세포에만 흡수되어, 외부의 광원에서 조사된 빛에 의한 광열 치료 작용
- 염증세포 이외의 세포에는 손상을 주지 않으며, 부작용을 최소화시키고, 치료 효과를 극대화

• 고분자로 랩핑된 반도체성 탄소 나노 튜브의 제조 방법, 이에 의하여 제조된 고분자로 랩핑된 반도체성 탄소 나노 튜브 및 이를 포함하는 반도체성 탄소 나노 튜브 조성물

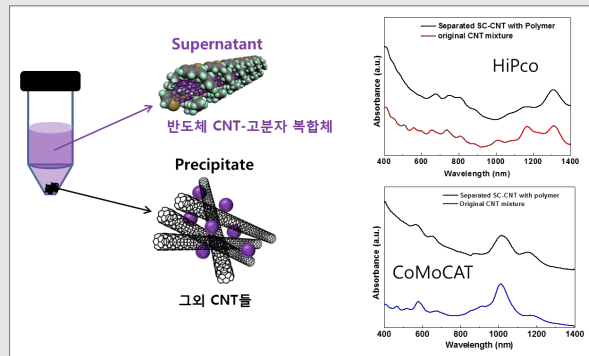
등록번호 10-1548008 (출원일: 2015.03.14. / 등록일: 2015.08.21.)
 대표연구자 김우재 교수 (가천대학교 산학협력단)
 적용분야 탄소 나노 튜브 개량

기술 개요

- 고분자로 랩핑된 반도체성 탄소 나노 튜브의 제조 방법, 이에 의하여 제조된 고분자로 랩핑된 반도체성 탄소 나노 튜브 및 이를 포함하는 반도체성 탄소 나노 튜브 조성물
- 탄소 나노 튜브를 선택적으로 공액 고분자로 랩핑하는 방법, 이에 의하여 제조된 고분자로 랩핑된 반도체성 탄소 나노 튜브 및 이를 포함하는 반도체성 탄소 나노 튜브 조성물

기술의 필요성

- 본 발명의 반도체성 탄소 나노 튜브의 랩핑용 공액 고분자·반도체성 탄소 나노 튜브의 밴드갭 에너지와 유사한 밴드갭 및 HOMO, LUMO 에너지 준위를 가짐
- 반도체성 탄소 나노 튜브를 랩핑하기에 충분한 길이의 사이드 체인을 포함·반도체적인 특성을 갖는 단일벽 탄소나노튜브를 효율적으로 분산시키는 효과

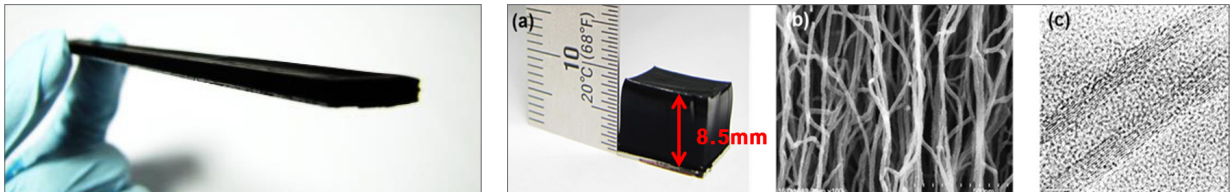


» 연구실 보유 기술

• 수직성장 고순도 탄소나노튜브 제조 기술

기술 개요

- 수직성장 고순도 탄소나노튜브(CNT) 제조기술 보유
- 10X100mm 기판에 균일하게 3mm이상의 탄소나노튜브 성장가능, 최대 8mm이상 성장

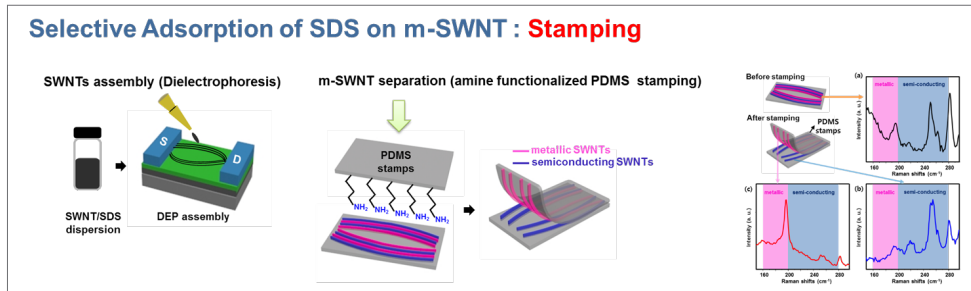
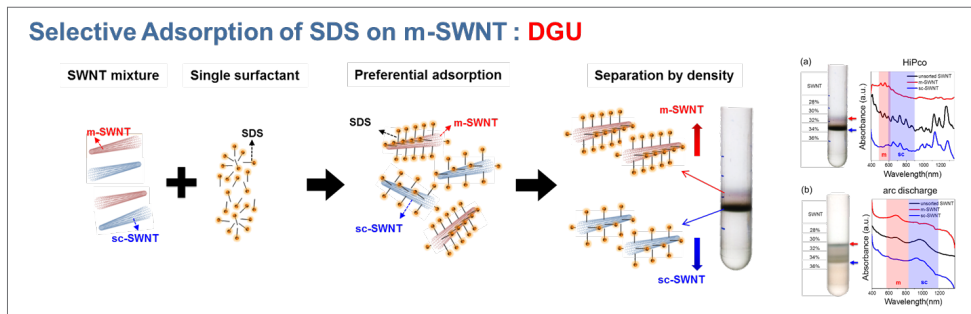
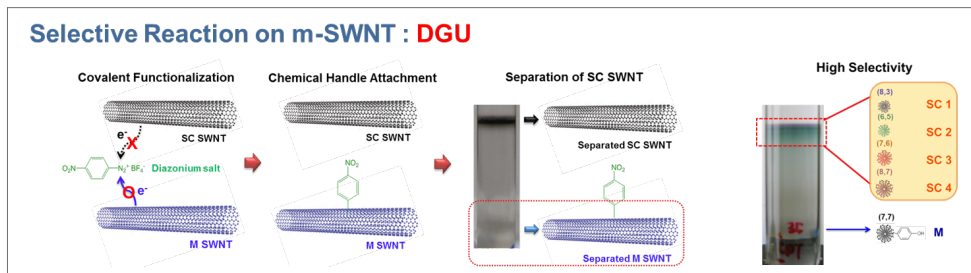


적용 가능 분야 나노소재, 열전소자, 나노소자 등

• 금속성 CNT 및 반도체성 CNT 분리 기술

기술 개요

- CNT 원재료 (혼합물) 로 부터 화학반응을 이용한 원심분리 방법, 표면처리된 PDMS를 이용한 stamping 방법, 계면활성제 사용을 이용한 분리방법, Gel Separation 방법 등 다양한 방법 (모두 특허로 보유) 을 이용하여 고순도 금속성 CNT 및 반도체성 CNT 제조 기술을 보유하고 있음



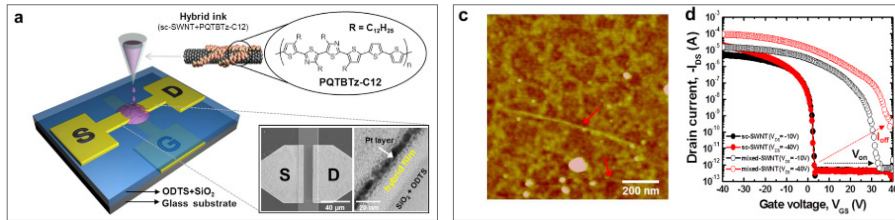
적용 가능 분야 고성능 탄소나노재료, 투명전극, 태양전지, 연료전지 전극, 배터리 전극 등

» 연구실 보유 기술

• 유연 나노전자 소자 기술

기술 개요

- 투명 유연 나노전자소자에 사용되는 고분자 반도체 물질의 성능 (전하이동속도 개선) 개선을 위해 특성 밴드갭을 지닌 반도체 탄소나노튜브와 하이브리드 하여 소자 성능을 개선할 수 있는 기술 보유
- 하이브리드 만으로 현재 고분자 유연 나노소자 성능을 3배로 증대시킬 수 있음

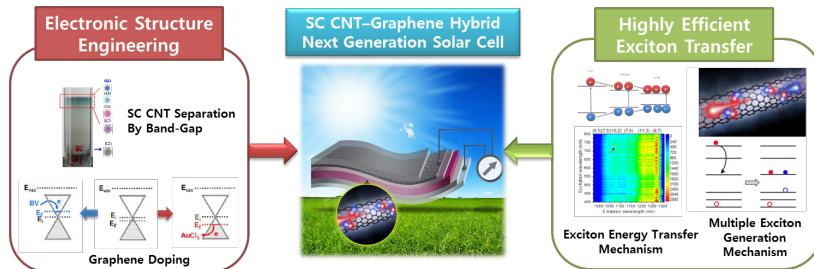


적용 가능 분야 투명, Flexible 나노전자소자 개발

• 탄소나노소재 기반 태양전지 개발

기술 개요

- 특정 밴드갭을 갖는 반도체 CNT 분리기술 및 고효율 전기에너지 전달을 위한 그래핀의 work function 제어 기술을 이용하여 높은 exciton energy transfer 효율을 구현할 수 있는 차세대 투명, flexible 반도체 CNT-그래핀 하이브리드 기반 고효율 태양전지 개발 기술 보유하고 있음

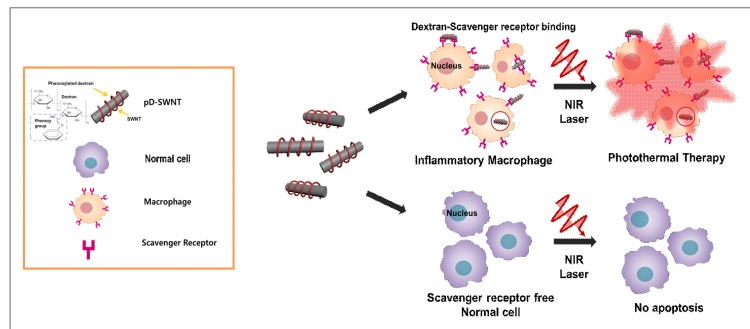


적용 가능 분야 투명, Flexible 태양전지 개발

• 암치료용 광열나노소재 개발 기술

기술 개요

- 생체친화성 CNT 복합체 제조기술 (특허 보유) 를 이용하여, 염색세포 및 암세포에 선택적으로 침투할 수 있는 광열나노소재를 개발 (특허 보유), 특정 적외선 파장의 레이저를 조사하였을 때 암세포 등을 광열 효과를 사용하여 제거할 수 있는 광열나노소재 제조 기술 보유

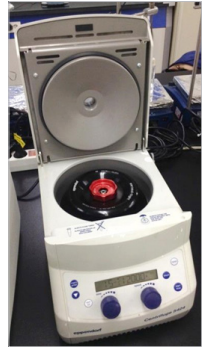


적용 가능 분야 광열나노소재, 암세포 특이적 침투 나노소재, 광열치료, 암치료제 등

» 연구실 보유 장비



Ultracentrifuge
초고속원심분리기



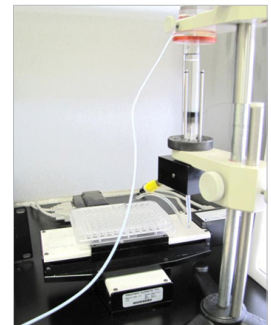
Microcentrifuge



다양한 종류의 Ultrasonic processor



Thermal chemical vapor deposition
열화학기상증착장비(CNT, 그래핀 합성)



Fraction recovery system & XY Linear Positioners 추출시스템



Oscilloscope & 함수발생기



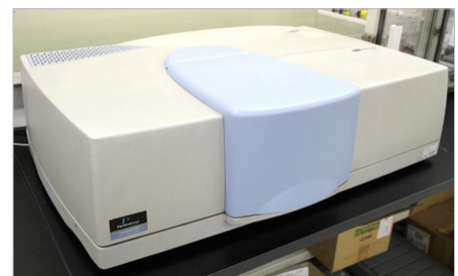
Thermal evaporation system
진공열증착장비



Rotary evaporator
회전감압농축기



Spin coater



UV/Vis/NIR Spectrophotometer