

# The 23<sup>rd</sup> Korean MEMS Conference

제23회 한국 MEMS 학술대회

2021.04.07(수) ~ 04.09(금), 부여 롯데리조트

| 논문원고접수 |

2020년 12월 14일(월) ~ 2021년 1월 13일(수)

| 논문심사결과 통보일 |

2021년 2월 17일(수)까지 홈페이지 (<http://www.micronanos.org>)에  
공지 및 책임저자에게 이메일로 통보

| 초록 및 논문접수처 |

<http://www.micronanos.org>

| 논문범위 |

1. Materials, Fabrication, Packaging and Simulation Technologies
2. Micro/Nanofluidics
3. Bio/Medical Micro/Nano Devices
4. Physical and Mechanical Micro/Nano Sensors and Systems
5. Chemical and Environmental Sensors
6. RF/Optical Devices
7. Micro/Nano Energy and Power Devices
8. Soft, Flexible and Printed Devices

주최 : (사)마이크로나노시스템학회 (E-mail : [master@micronanos.org](mailto:master@micronanos.org), 전화 : 02-749-6482)

# 제23회 KMEMS 학술대회 POSTER SESSION

Poster Session 1 (WP-1) 4월 7일 수요일  
16:45~18:00

논문 No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Presenting Author	Organization
WP-1-01	Morphology-Controllable Micro/Nano Hierarchical Structure and Its Application to Cough Detection Sensor	안준성	박인규	안준성	한국과학기술원
WP-1-02	모스아이 모사 형상의 재료적, 구조적 최적화	최지성	강성민	최지성	충남대학교
WP-1-03	PVDF/BIT composite film for high efficiency Piezoelectric Nanogenerator	류채현	김희준	류채현	대구경북과학기술원
WP-1-04	Fabrication of a sealed pH-responsive Micro-container based on solvent evaporation using PDMS stencil and drug delivery test	주밍저	김규만	주밍저	경북대학교
WP-1-05	Micro/nano structure fabrication of CNT-PUA composite by RIE process	하지환	박인규	하지환	한국과학기술원
WP-1-06	Development of fabrication process for nanopore structures using anodic aluminum oxide mask and applications to liquid phase electron microscopy	임주원	이원철	임주원	한양대학교
WP-1-07	Fabrication of Hierarchical Structures from Metal Deposited Polymer Nanopillars	김주은	이경균	김주은	나노종합기술원
WP-1-08	Omniphobic Properties and Micro-Chamber Functions of Donut-shaped Double-tip Mushroom Structure	김현정	강성민	김현정	충남대학교
WP-1-09	Fabrication and application of UV-curable polymer based hydrophobic film	김철	박종성	김철	경북대학교
WP-1-10	레이저 어블레이션을 이용한 거친 3D 프린팅 필라멘트 제작	서승민	소홍윤	서승민	한양대학교
WP-1-11	Thermomechanical Properties of Two-Dimensional MoS <sub>2</sub> -Reinforced PDMS Composites	왕뢰뢰	최정욱	왕뢰뢰	영남대학교
WP-1-12	Observation of Mixed Metal-CN Material Nanostructures on Graphene	박충근	이원철	박충근	한양대학교
WP-1-13	Salvinia-Inspired Hydrodynamic Drag Reducing Surface	김민수	곽문규	김민수	경북대학교
WP-1-14	Ni 층에 함입된 CNTs의 박리강도 측정	박동민	고종수	탁형준	부산대학교
WP-1-15	유리 기판 내부 동적 장치 제작을 위한 극초단 레이저 기반 2단계 하이브리드 공정	김정태	구치완	김정태	한밭대학교
WP-1-16	직접성장 CNT기반 소자 응용을 위한 마이크로 패턴 촉매금속의 형상학적 변화 특성 분석	김광준	육종걸	김광준	서울과학기술대학교
WP-1-17	Bonding and adhesion bonding strength measurement of flexible temperature sensor on flexible printed circuit board (FPCB) using anisotropic conductive film (ACF)	박준식	박준식	박준식	한국전자기술연구원
WP-1-18	Double-layered microneedles for long-term fluorescent-based glucose monitoring	이가영	허윤정	이가영	경희대학교
WP-1-19	Transient self-assembled structure analysis for prediction of the cavity formation of upon high temperature silicon annealing	김태영	이정철	김태영	한국과학기술원
WP-1-20	다공성 구조 내외부의 탄소 나노 튜브를 활용한 광범위 고감도 유연 촉각 센서	배규빈	김종백	배규빈	연세대학교
WP-1-21	Wearable Self-Powered Pressure Sensor by Integration of Piezo-transmittance Microporous Elastomer with Organic Solar Cell	최종락	박인규	최종락	한국과학기술원
WP-1-22	Direct single-step printing of conductive nanogrids on curved surfaces using template-guided foaming	배주열	김태성	배주열	UNIST(울산과학기술원)
WP-1-23	Highly Sensitive Tactile Sensor Array Insensitive to Uniaxial Tensile Strain Using Stretchable Mesh	김민형	김종백	김민형	연세대학교
WP-1-24	3D Printed Polymeric Electrode for Extraction of Photosynthetic Electrons	김용재	류원형	김용재	연세대학교
WP-1-25	3D프린터를 활용한 크랙 기반 고성능 스트레인 게이지의 간단한 제작 방법	신상훈	소홍윤	신상훈	한양대학교
WP-1-26	전도성 직물을 이용한 압력센서의 특성과 동작 원리	강혜림	성우경	강혜림	한국전자기술연구원
WP-1-27	신축성 있는 폴리머 막 전극을 이용한 열 팽창 액추에이터의 제작과 성능 검증	고병조	소홍윤	고병조	한양대학교

논문 No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Presenting Author	Organization
WP-1-28	Smart contact lens fabrication and application through direct nanotransfer printing	고지우	박인규	고지우	한국과학기술원
WP-1-29	유연 기관 위에 직접 인쇄된 금속 메쉬 구조물 및 투명 전자소자의 응용	김한중	김윤갑	김한중	(재) 구미전자정보기술원 융복합소재연구센터
WP-1-30	노즐젯 공정을 이용한 유기 발광 다이오드 조명 제작	신권용	이상호	신권용	한국생산기술연구원
WP-1-31	열충격 시험을 통한 잉크젯 인쇄된 실버 전극의 신뢰성 연구	심성민	이상호	심성민	한국생산기술연구원
WP-1-32	ITO 식각용 마스크 패턴을 위한 감광액 잉크젯 인쇄 공정에 관한 연구	유준호	이상호	유준호	한국생산기술연구원

**Poster Session 2 (TP-2)**

8월 20일 목요일  
16:20~17:30

논문 No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Presenting Author	Organization
TP-2-01	Liquid metal-based pressure sensor using 3D printed microbumps for higher sensitivity and reliability in wearable devices	Osman Gul	박인규	Osman Gul	한국과학기술원
TP-2-02	Modeling of High Performing Bio-inspired MEMS Directional Microphone for Microscale Sound Source Localization	아쉬쿠르	김병기	아쉬쿠르	한국기술교육대학교
TP-2-03	Pressure sensor fabrication integrated with graphene monolayer	한현석	박인규	한현석	한국과학기술원
TP-2-04	초박형 대면적 실리콘 질화막 기반 바이모르프 MEMS전열구동기	안명수	정기훈	안명수	한국과학기술원
TP-2-05	Wireless, wearable, crack-activated pressure sensor	조석주	박인규	조석주	한국과학기술원
TP-2-06	MWCNTs/PLA 나노 복합체 폴리머의 3D 프린팅을 적용한 온도센서 결합 3축 압력 센서	김향겸	김희준	김향겸	대구경북과학기술원
TP-2-07	탄소 나노튜브 다발이 포함된 마이크로 구조 기반 유연 고감도 촉각 센서	심상준	김종백	심상준	연세대학교
TP-2-08	전자기 유도 기반 정전 구동형 MEMS 자기장 센서	정요한	김종백	정요한	연세대학교
TP-2-09	대동맥판막협착증 진단 향상을 위한 연속웨이블릿 변환을 이용한 광음향적 맥파 신호 기반 딥러닝 시스템 플랫폼 개발	김선애	이이재	김선애	한국과학기술연구원
TP-2-10	Enhanced mechanical strength of a PDMS Foam by Sugar Fusion and its Application to Pressure Sensor	유호준	고종수	곽동화	부산대학교
TP-2-11	차량용 카메라 센서의 세정을 위한 초음파 자가세정 유리	이승민	정상국	이승민	명지대학교
TP-2-12	Wireless Power Supplied Pulse Oximeter based on the Inductive Coupling	강성구	김정현	강성구	광운대학교
TP-2-13	압전 박막을 기반으로 한 자가 발전 유연 터치 센서 개발	여홍구	최홍수	여홍구	대구경북과학기술원 선문대학교
TP-2-14	맥신 나노 파이버 기반의 고성능 자가전원 압력 센서	Trilochan Bhatta	박재영	이상현	광운대학교
TP-2-15	Thermal properties measurements of liquids using pulse operation in vacuum environment with heater integrated suspended microchannel resonator	고주희	이정철	김민주	한국과학기술원
TP-2-16	비닐실리카나노파티클-하이드로겔 기반의 웨어러블 스트레인 센서	고석규	박재영	박찬이	광운대학교
TP-2-17	인장 변화율에 따른 탄소나노튜브 기반 유연 신축성의 NO2 가스센서 특성 분석	박전형	김희준	박전형	대구경북과학기술원
TP-2-18	Development of electrochemical immunosensor using SnO2 nanoflakes integrated carbon fiber for detection of interleukin 6 in human sweat	Sekar Madhu	최정일	Sekar Madhu	국민대학교
TP-2-19	SnO2/rGO Composite for the Detection of Biomarkers of Lung Cancer	ARUNKUMAR SHANMUGASUNDARAM	이동원	ARUNKUMAR SHANMUGASUNDARAM	전남대학교
TP-2-20	나노입자의 응축 성장 및 정전용량식 액적 계수법을 이용한 MEMS 기반	전재완	김용준	전재완	연세대학교
TP-2-21	LaFeO3 페로브스카이트 기반 sub-ppm 고민감도 가스 센서	이경택	김희준	이경택	대구경북과학기술원

논문 No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Presenting Author	Organization
TP-2-22	효율적인 광 흡수를 통하여 가역적 NO2 감지가 가능한 MoS2가 통합된 LED	박준	최정욱	박준	영남대학교
TP-2-23	초저전력 광측매식 마이크로 LED 가스 센서의 제작	이기철	박인규	이기철	한국과학기술원
TP-2-24	양극산화알루미늄을 이용한 저전력 마이크로 히터 플랫폼 기반 가스센서 설계	이병주	박인규	이병주	한국과학기술원
TP-2-25	Characterization of Reduced Graphene Oxide based Hybrid Electrode Materials for Highly Sensitive Hydrogen Peroxide Determination	김호성	이이재	김호성	한국과학기술연구원
TP-2-26	Study on the Functionalization of SiC Surface for a Biochemical Sensor	한성웅	한성웅	한성웅	포항공과대학교
TP-2-27	A Low-cost, Wireless, and Portable Potentiostat for Cyclic Voltammetry 순환 전압 전류법을 위한 저비용, 무선 및 휴대용 전위차계	김준우	김정현	김준우	광운대학교
TP-2-28	Fabrication and Characterization of a Thin Carbon Film as a Quasi-Reference Electrode for Miniaturized Electrochemical Biosensor Applications	피쥬스쿤두	신홍주	피쥬스쿤두	울산과학기술원
TP-2-29	요산 및 pH 동시 모니터링을 위한 MXene 기반 웨어러블 땀 패치센서	김현식	박재영	선우수경	광운대학교
TP-2-30	땀 속의 중금속 아연 이온 모니터링을 위한 Laser Induced Graphene 기반의 유연 패치 센서	Xue Hui	박재영	신영도	광운대학교
TP-2-31	CEA 바이오마커 조기 검출을 위한 3D 다공성 그래핀 기반의 유연 면역센서	Md Abu Zahed	박재영	윤상혁	광운대학교
TP-2-32	A highly sensitive MEMS acetone gas sensors with low power consumption for Diet-monitoring applications	이재은	이대식	이대식	한국전자통신연구원/UST

Poster Session 3 (FP-3)

4월 9일 금요일  
09:00~10:10

논문 No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Presenting Author	Organization
FP-3-01	회진 중첩 마이크로렌즈 어레이를 이용한 동등 평가용 3차원 얼굴 이미징 Stereoscopic Facial Imaging for Pain Assessment using Rotational Offset Microlens Arrays	권재명	정기훈	권재명	한국과학기술원
FP-3-02	Real-time Handheld Confocal Microscope using High Definition High Frame Rate Lissajous scanning MEMS Mirror	전재훈	정기훈	전재훈	한국과학기술원
FP-3-03	Flexible Serotonin Sensor with Electrochemically Deposited Graphene Oxide/PEDOT:PSS Composite for Neurochemical Imbalance Monitoring	고승현	이이재	고승현	한국과학기술연구원
FP-3-04	망막하 자극을 위한 패럴린 기반의 반구형 마이크로전극	홍예지	김소희	홍예지	대구경북과학기술원
FP-3-05	복제 몰딩을 이용한 PDMS 기반 마이크로 렌즈 어레이 제작	최희원	김용권	최희원	서울대학교
FP-3-06	A microstructured substrate for the dynamic culture of bioprinted cell-hydrogel constructs	이기현	박재균	이기현	한국과학기술원
FP-3-07	고대비 근적외선 영역 삼차원 얼굴 영상을 위한 초박형 라이트 필드 카메라	배상인	정기훈	배상인	한국과학기술원
FP-3-08	감염성 바이러스 신속 검출을 위한 시료 전처리 자동화 시스템 및 전기화학 센서 개발	허웅	정효일	허웅	연세대학교
FP-3-09	미세-유체 기반의 사출성형 칩을 이용한 극소농도의 균액에 적합한 항생제 감수성 검사 시스템	황순재	최정일	황순재	국민대학교
FP-3-10	세포 배양액 상태에 따른 심근세포 수축력 변화	김종윤	이동원	김종윤	전남대학교
FP-3-11	VOC 분석을 위한 가스 농축기의 개발 및 농축 성능 평가	강혜림	이국녕	강혜림	한국전자기술연구원
FP-3-12	Improving the Maturity of the Cardiomyocytes using Diaphragm-based Mechanical Stimulation	Abdullah-Bin Siddique	이동원	Abdullah-Bin Siddique	전남대학교
FP-3-13	형광 이미징을 위한 초박형 고속 오프셋 어레이드 카메라	김현경	정기훈	김현경	한국과학기술원
FP-3-14	nanoFET 바이오센서의 동작원리 설명 및 가짜 신호 해석	강혜림	이국녕	강혜림	한국전자기술연구원
FP-3-15	Analysis of Bacterial Inoculum Effect by using Microscopic imaging in micropatterned biochip	황정호	최정일	최정일	국민대학교
FP-3-16	세포 소기관 유래에 따른 엑소좀 모사 나노소포의 다양성	이현진	박재성	이현진	포항공과대학교

논문 No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Presenting Author	Organization
FP-3-17	3차원 스페로이드의 경제적 생산을 위한 액적 기반 미세유체시스템 개발	이재훈	김현수	이재훈	광운대학교
FP-3-18	Fluidic Urea Biosensor Based on Effective Enzyme Immobilization	김지영	박민	김지영	한림대학교
FP-3-19	순차적 이온 농도 분극 현상을 이용한 종이접기 기반 혈청 농축기 Paper-based	이승민	이정훈	이승민	고려대학교
FP-3-20	다양한 신경 전극 디자인 설계를 통한 신경 자극 성능 검증	최원석	김진석	최원석	한국과학기술연구원
FP-3-21	Double-clip Neural Interface Using Shape Memory Polymer	조영준	이상훈	조영준	대구경북과학기술원
FP-3-22	Ultrasound-induced Heater based on AgNW-PDMS Composite Membrane	김우혁	박진수	김우혁	전남대학교
FP-3-23	엑소좀 분리를 위한 ATPS의 적용 종이칩 (Exosome isolation paper device based on Aqueous two-phase system (ATPS))	김진환	이정훈	김진환	광운대학교
FP-3-24	Microfluidic Chips with Electrical Stimulation Controller for Mechanism Research of Intervertebral Disc Degeneration	김안기	최혁	김안기	고려대학교 의생명연구소 (고대구로병원)
FP-3-25	Surface-Enhanced Infrared Spectroscopy Based on Aluminum Metamaterial Absorber with nanogap	김민균	정주연	김민균	한국기계연구원
FP-3-26	Temperature Effects on Electro-Mechano-Physiology of NRVM Measured by a Dual-Function Biosensor	푸자	이동원	푸자	전남대학교
FP-3-27	Passive flow-rate regulating devices with output controllability depending on the flexible membrane thickness	남미송	허윤정	남미송	경희대학교
FP-3-28	Real-Time 3D Ultrasound Imaging with Trench-Insulated 2D Capacitive Micromachined Ultrasound Transducers	김혜연	이병철	김혜연	한국과학기술연구원
FP-3-29	의료용으로 적용 가능한 MEMS 열식 유연 유량센서의 제작과 평가	조명옥	임시형	장우진	국민대학교
FP-3-30	Multi-point Partial Pressure of Oxygen (pO <sub>2</sub> ) Sensing Needle for Minimally-invasive Monitoring of Tumor Micro-environment	서보경	박인규	서보경	한국과학기술원
FP-3-31	금속 박막을 증착한 AAO wafer와 압전소자를 활용한 미세입자 분무장치 제작	김동준	이병철	김동준	한국과학기술연구원
FP-3-32	Continuous preparation of Bicelles Using Hydrodynamic Focusing Method and Analysis of Bicelle to Vesicle Transition	최성학	정호섭	최성학	서울대학교

**Poster Session 4 (FP-4)**

4월 9일 **금요일**

13:00~14:10

논문 No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Presenting Author	Organization
FP-4-01	3차원 교류 전기 삼투 유동의 가시화	윤세혁	김성재	윤세혁	서울대학교
FP-4-02	표면전도 증진에 의한 아연 이온 전극에서의 수지상 성장 억제	서주원	김성재	서주원	서울대학교
FP-4-03	다양한 세포 포획 압력에서 노화의 정도를 구분하기 위한 전기화학 임피던스 분광기	김원호	박양규	김원호	한국전자기술연구원
FP-4-04	이온 선택적 투과막 내 지지층에 따른 전기대류적 와류 고정에 대한 효과	서명진	김성재	서명진	서울대학교
FP-4-05	이온 선택성 막 근처에서 전기적 와류 불안정에 대한 이온 선택성 구조물의 이론적 분석	이도근	김성재	이도근	서울대학교
FP-4-06	Detection of specific blood cancer mutations using DNA-dCas9 binding sample mobility changes	이상준	김성재	이상준	서울대학교
FP-4-07	Bypass 구조의 폐수 찌꺼기 실시간 함수를 측정센서 제작	김재민	고정상	김재민	부산대학교
FP-4-08	마름모 단면을 가진 미세채널 내 점탄성 유체에서 나노입자 탄성-관성 집중 현상	권주용	조영학	권주용	서울과학기술대학교
FP-4-09	등변육각형 단면 형상의 미세 채널 내에서의 입자 집중 현상	김의환	조영학	김의환	서울과학기술대학교
FP-4-10	미세 유체 순환을 활용한 MEMS 기반의 공기 중 금속 입자 실시간 측정 시스템	윤종서	김용준	윤종서	연세대학교
FP-4-11	용액 및 온도구배를 이용한 나노채널내 확산삼투 기반 이온 전달 현상의 제어 및 분석	이종완	김태성	김동준	울산과학기술원

논문 No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Presenting Author	Organization
FP-4-12	Combined Inertial and Temperature Effects Generated by 3D Microfluidics Device for Continuous Particle Separation	이경훈	김태성	이경훈	울산과학기술원
FP-4-13	초소수성 하이드로젤 마이크로니들 표면에서의 얼리 박음성	하치욱	이충엽	하치욱	경희대학교
FP-4-14	미세유체 기술을 이용한 PS-b-PMMA의 균일한 크기의 전도성 마이크로 입자 제조	김영덕	고정상	김영덕	부산대학교
FP-4-15	미세유체칩을 이용한 바이셀의 연속적인 합성 및 합성 리피드 멤브레인의 물리 화학적 특성 분석	강봉수	곽문규	강봉수	경북대학교
FP-4-16	Preparation of porous microsphere using mixing in microdroplet in microfluidic device	한지환	김규만	한지환	경북대학교
FP-4-17	수용액 이상계 액적을 이용한 크기 기반 나노입자 분리 (Size-based separation of nanoparticles via aqueous two-phase system droplets)	정재훈	박재성	정재훈	포항공과대학교
FP-4-18	역전기삼투 공정 장치 내 음극에서의 수소이온 생성층 특성 분석	조인희	곽노균	조인희	한국생산기술연구원
FP-4-19	Active Control of Solutal Marangoni Effect using Ultrasound-induced Heating	차범석	박진수	차범석	전남대학교
FP-4-20	원형 채널의 돌출 팁 구조에 따른 마이크로 액적 크기 변화 Micro droplet size changes depending on protruding tip of 3D circular channel	이찬주	황용하	이찬주	고려대학교
FP-4-21	이온농도분극 현상을 이용한 Caviar 추출물 대용량 분리농축 장치 개발	홍성준	김성재	홍성준	서울대학교
FP-4-22	Fabrication of Electroplated Nickel Hollow Microneedle Arrays	동조위	박우태	동조위	서울과학기술대학교
FP-4-23	Integrated Microfluidic chip (HO-MOFF) for Rapid and Selective Isolation of Tumor Derived Exosomes to Evaluate Metastatic Risk in Breast Cancer	곽호경	정효일	곽호경	연세대학교
FP-4-24	액적 미세유체에 의한 순환종양세포-호중구 클러스터 형성을 위한 세포의 관성력 보조 패어링	박준현	현경아	박준현	연세대학교
FP-4-25	A disposable capacitive electrical droplet measurement based on film-chip technique	김준형	조형석	한기호	인제대학교
FP-4-26	분자 진단을 위한 광섬유 국소화 표면 플라즈몬 공명 센서 칩의 제작 및 측정	김형민	이승기	김형민	단국대학교
FP-4-27	높은 민감도를 갖는 가스 검출용 표면 플라즈몬 공명 센서의 설계	이연수	김정무	이연수	전북대학교
FP-4-28	종이 기반 마이크로유체 미생물 연료전지 전력량 향상을 위한 연구	김진용	안유민	김진용	한양대학교
FP-4-29	Piezoelectric nanogenerator based on lead-free flexible PVDF-barium titanate composite films for harnessing biomechanical energy	Sahu Manisha	김희준	Sahu Manisha	대구경북과학기술원
FP-4-30	Microfluidic Device Based Flexible Triboelectric Generator for Energy Harvesting and Self- Powered Fluidic Sensor Applications.	Karhikeyan Munirathinam	이동원	Karhikeyan Munirathinam	전남대학교
FP-4-31	마이크로 유체 시스템에서의 다중 산화환원 유기 전해질의 무막 산화환원 전지 연구	박형주	김성재	박형주	서울대학교
FP-4-32	Micro-Cilia Integrated Single Electrode Mode Triboelectric Nanogenerator for Scavenging Ambient Mechanical Energy	서정연	김희준	서정연	대구경북과학기술원

# SnO<sub>2</sub>/rGO Composite for the Detection of Biomarkers of Lung Cancer

<sup>1</sup>Arunkumar Shanmugasundaram, <sup>1,2,3</sup>Dong-Weon Lee\*

<sup>1</sup>School of Mechanical Systems Engineering,

<sup>2</sup>Center for Next Generation Sensor Research and Development,

<sup>3</sup>Advanced Medical Device Research Centre for Cardiovascular Disease,  
Chonnam National University, Gwangju-61186, Republic of Korea.

\*E-mail: mems@jnu.ac.kr

## 폐암의 생체지표 검출을 위한 SnO<sub>2</sub>/rGO 복합체

<sup>1</sup>아룬쿠마르 순다람, <sup>1</sup>이동원\*

<sup>1</sup> 전남대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 차세대 센서 연구 개발 센터,

<sup>3</sup> 심혈관 환자맞춤형 차세대 정밀의료기술 선도연구센터

### Abstract

Despite the developments made in diagnosis and treatment, the prediction of lung diseases is still inferior. Early detection of lung diseases requires invasive low cost techniques. Identification of lung diseases includes the detection of multiple biomarkers such as heptane and decane. Herein, we proposed the susceptible and selective sensor for the detection of biomarkers of lung diseases. The SnO<sub>2</sub> nanospheres (Sn<sub>NNS</sub>) and SnO<sub>2</sub>/rGO superstructural architectures (GS<sub>SS</sub>) are prepared by the facile hydrolysis method. The as-prepared materials are investigated in detail by the different analytical techniques, and the obtained results are consistent with each other. The proposed sensor exhibits excellent sensitivity as low as 500 ppb to heptane and decane.

Keywords: *SnO<sub>2</sub>/rGO*(한글), *Nanocomposite*(한글), *heptane and decane sensing*(한글), *high sensitivity*(한글).

### 1. Introduction

Detection of lung diseases includes the recognition of various biomarkers such as in the patients breathe. The bio markers observed in the breath lung cancer patients are heptane, decane, 2-methyl pentane, formaldehyde, 2-ethyl-1-hexanol, propanal, pentanal, and acetone. Analyzing these biomarkers from the human breath is an effective and efficient method to detect lung cancer in early stages. However, detection of these low concentrations biomarkers from the pat Detection of lung diseases includes the recognition of various biomarkers, such as in the patient's breath. The biomarkers observed in the breath lung cancer patients are heptane, decane, 2-methyl pentane, formaldehyde, 2-ethyl-1-hexanol, propanal, pentanal, and acetone. Analyzing these biomarkers from the human breath is an effective and efficient method to detect lung cancer in its early stages. However, detection of these low concentrations of biomarkers from the patients is challenging.

Over the years, several techniques have been proposed to detect these biomarkers. For example, Guntner et al. proposed a compact E-nose based on Pt/SnO<sub>2</sub> hybrid nanocomposite to quantify formaldehyde [1]. Khatoun et al. prepared the doped SnO<sub>2</sub> nanomaterials for the electrochemical detection of lung disease biomarkers [2]. However, most of the proposed sensors work at high operating temperatures, limiting the sensors' practical applicability. Besides, the high-temperature sensors cannot be used in biomedical applications. Therefore, a practical and

durable low-cost sensor working in real situations for early detection, quantification, and warning against lung cancer at ambient temperature is required.

To overcome the drawbacks of the current-state-of the art, herein, we developed the Sn<sub>NNS</sub> and GS<sub>SS</sub> based sensors to detect heptane and decane biomarkers. The incorporation of graphene nanosheets enhanced the sensitivity of the sensor into the SnO<sub>2</sub> matrix. The proposed sensors showed excellent sensitivity and selectivity to heptane and decane.

### 2. Experimental section

#### 2.1. Preparation of hierarchical SnO<sub>2</sub>/rGO super structural architectures

In a typical procedure for synthesizing GS<sub>SS</sub>, firstly, calculated amount of GO and sodium stannate trihydrate were dispersed in deionized water. Then, the desired amount of D-glucose monohydrate was added to the above solution. The final reaction mixture kept for stirring at 90° C for 19 h. The obtained precipitate was centrifuged and washed with deionized water and kept for drying at 55° C. The hierarchical mesoporous Sn<sub>NNS</sub> were prepared using the same protocol except using rGO nanosheets.

### 3. Results and discussion

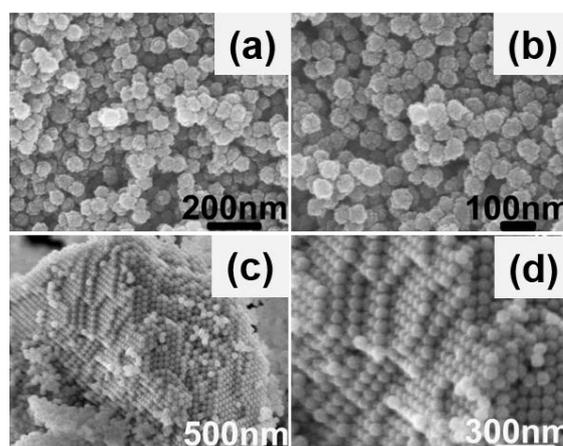
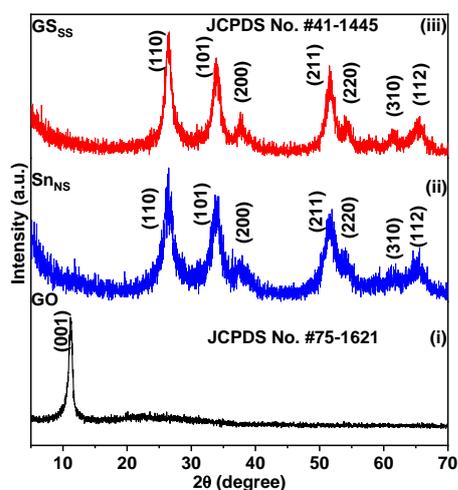


Fig. 1. FESEM images of the (a, b) Sn<sub>NNS</sub> at different magnification, (c, d) GS<sub>SS</sub> architectures.

The field emission scanning electron micrograph (FESEM)

showing numerous nearly monodisperse as-prepared Sn<sub>NS</sub> with an average diameter of ~50 nm (Fig 1a). The high-resolution FESEM images reveal the hierarchical nature of the as-synthesized Sn<sub>NS</sub>. Fascinatingly, the closer view of these nanospheres under high magnifications, several nanoparticles of size ~5 nm are evidenced as the primary building blocks. Fig. 2 shows the FESEM images of the as-prepared GS<sub>SS</sub> architectures. The FESEM analysis confirms the formation of building blocks of SnO<sub>2</sub> on the rGO nanosheets.

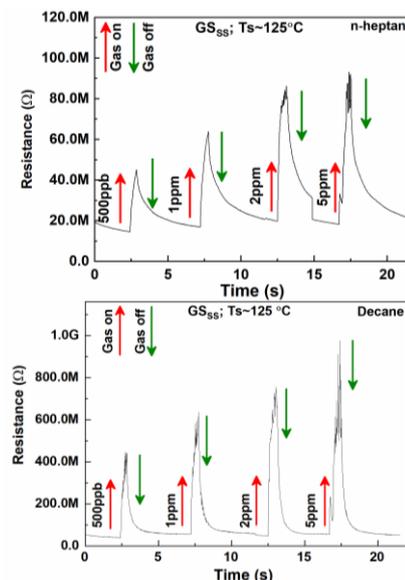
Fig. 2a (i) shows the powder X-ray diffraction (XRD) pattern of the as-prepared GO. The diffraction pattern at 2θ of 11.5°, attributed to the (002) lattice plane of disordered graphitic structure (JCPDS No. 75-1621) [3]. XRD patterns of Sn<sub>NS</sub> and GS<sub>SS</sub> architectures exhibits the similar diffraction patterns at 2θ of 26.7°, 33.6°, 37.6°, 51.8°, 54.3°, 61.5°, and 64.8° correspond respectively to (110), (101), (200), (211), (220), (310) and (112) planes of tetragonal rutile SnO<sub>2</sub> crystal structure (JCPDS No. 41-1445) [2]. The Raman spectrum of GO shows peaks ~1348 cm<sup>-1</sup> and 1585 cm<sup>-1</sup> corresponding to the D and G band of the graphitic structure. Fig. 2b(ii) shows the peaks at 475, 577, and 637 cm<sup>-1</sup> corresponding to the primary vibrational modes, Eg, A1g, and B2g of tetragonal rutile SnO<sub>2</sub>, respectively. The Raman band at 475 cm<sup>-1</sup> attributed to the vibration of an oxygen atom in the Sn–O plane. The Raman band positioned at 577 and 637 cm<sup>-1</sup> arises from the expansion and contraction of Sn–O vibrational modes [2]. The Brunauer–Emmett–Teller (BET) surface area of the Sn<sub>NS</sub> and GS<sub>SS</sub> architectures calculated as 128 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> and 198 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>, respectively.



**Fig. 2.** (a) Powder X-ray diffraction pattern of the (i) as-prepared graphene oxide, (ii) Sn<sub>NS</sub> and (iii) GS<sub>SS</sub> architectures.

The gas sensing properties of the fabricated sensors based on Sn<sub>NS</sub> and GS<sub>SS</sub> architectures were investigated at different sensing temperature to 50 ppm of heptane and decane. The sensing response of both the sensors increased with increasing operating temperature. The maximum heptane sensing response ( $\Gamma_{SRmax}$ ) of the Sn<sub>NS</sub> sensor at 125 °C was ~24, whereas the  $\Gamma_{SRmax}$  of the GS<sub>SS</sub> architecture sensor at 150 °C was ~56. The GS<sub>SS</sub> sensor exhibited ~2.75-fold higher in sensing response compared to the pristine Sn<sub>SS</sub> sensor. The Eg of GS<sub>SS</sub> sensor and Sn<sub>SS</sub> sensor was found to be ~0.18 eV, and 0.29 eV, respectively. The lower Eg value of the GS<sub>SS</sub> sensor is indicating the improved performance of the sensor. Fig. 3 shows the dynamic sensing characteristics of the sensors based on Sn<sub>SS</sub> sensor at 125 °C to different concentration of heptane and decane. Both the sensors

exhibited wide range of detection limit indicating the excellent sensitivity of the proposed sensors.



**Fig. 3.** Dynamic sensing characteristics of the sensors based on GS<sub>SS</sub> architecture to different concentration of heptane and decane at 125 ° C.

#### 4. Conclusion

The hierarchical mesoporous Sn<sub>NS</sub> and GS<sub>SS</sub> architectures were prepared by a facile hydrolysis method. The fabricated sensors showed strong sensing response towards heptane and decane. The sensors can detect the target gases as low as 500 ppb indicating the excellent sensitivity of the proposed sensors.

#### Acknowledgments

This work was financially supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIT) (No. 2020R1A5A8018367) and Basic Science Research Pro-gram through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (No. 2020R111A1A01073562).

#### References

1. A.T. Güntner, V. Koren, K. Chikkadi, M. Righettoni, S. E. Pratsinis, E-Nose Sensing of Low-ppb Formaldehyde in Gas Mixtures at High Relative Humidity for Breath Screening of Lung Cancer. *ACS Sensors* 1, 528, (Mar. 2016)
2. Z. Khatoun, H. Fouad, O. Y. Alothman, M. Hashem, Z. A. Ansari, S. A. Ansari. Doped SnO<sub>2</sub> Nanomaterials for E-Nose Based Electrochemical Sensing of Biomarkers of Lung Cancer. *ACS Omega* 5, 27645 (Oct 2020)
3. A. Shanmugasundaram, N. D. Chinh, Y.-J. Jeong, T. F. Hou, D.-S. Kim, D. Kim, Y.-B. Kim, D.-W. Lee Hierarchical nanohybrids of B- and N-codoped graphene/mesoporous NiO nanodisks: an exciting new material for selective sensing of H<sub>2</sub>S at near ambient temperature. *J. Mater. Chem. A*, 7, 9263 (Mar. 2019).

# SnO<sub>2</sub>/rGO Composite for the Detection of Biomarkers of Lung Cancer

<sup>1</sup>Arunkumar Shanmugasundaram, <sup>1, 2</sup>Dong-Weon Lee\*

<sup>1</sup>MEMS and Nanotechnology Laboratory, School of Mechanical Engineering,

<sup>2</sup>Center for Next Generation Sensor Research and Development,

Chonnam National University, Gwangju-61186, Republic of Korea, \*E-mail: mems@jnu.ac.kr.

## ABSTRACT

Despite the developments made in diagnosis and treatment, the prediction of lung diseases is still inferior. Early detection of lung diseases requires invasive low cost techniques. Identification of lung diseases includes the detection of multiple biomarkers such as heptane and decane. Herein, we proposed the susceptible and selective sensor for the detection of biomarkers of lung diseases. The SnO<sub>2</sub> nanospheres and SnO<sub>2</sub>/rGO superstructural architectures are prepared by the facile hydrolysis method. The as-prepared materials are investigated in detail by the different analytical techniques, and the obtained results are consistent with each other. The proposed sensor exhibits excellent sensitivity as low as 500 ppb to heptane and decane.<sup>1</sup>

## INTRODUCTION

According to the world health organization (WHO) lung cancer is one of the most common causes of disease and is responsible for 1.3 million deaths worldwide every year. Therefore, the early detection of lung cancer is highly desired to save millions of people's life.

The bio-markers observed in the breath lung cancer patients are heptane, decane, 2-methyl pentane, 2-ethyl-1-hexanol, propanal, pentanal, and acetone. Analyzing these bio-markers from the human breath is an effective and efficient method to detect lung cancer in early stages.<sup>2</sup>

However, detection of these low concentrations bio-markers from the patients are extremely difficult. Therefore, a practical and durable low-cost sensor working in real situations, for early detection, quantification, and warning against lung cancer at ambient temperature would be developed.

## GENERAL CHARACTERISTICS OF THE GAS SENSOR

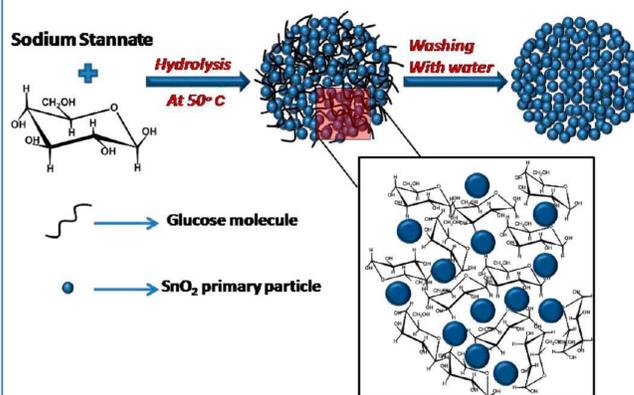
High sensitivity, Excellent selectivity, Fast response and recovery time, Humidity independence, Low energy consumption

## MOTIVATION

- ❖ Decreasing operating temperature of the sensor
- ❖ Developing highly selective and sensitive sensor
- ❖ Enhancing the sensitivity of the sensor
- ❖ High stability

## MATERIALS AND METHODS

Scheme 1. Schematic Representation Illustrating the Synthesis Mechanism of Porous SnO<sub>2</sub> Nanospheres



## RESULTS AND DISCUSSION

MORPHOLOGICAL AND CRYSTAL STRUCTURE ANALYSIS

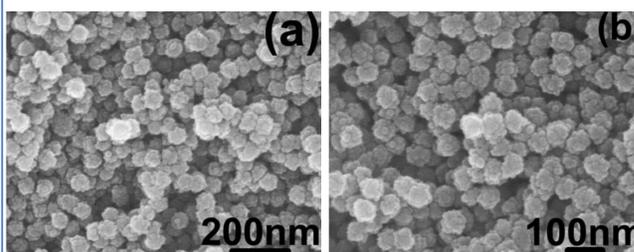


Fig. 1 FESEM images of the as-prepared SnO<sub>2</sub> nanospheres at different magnifications

## RESULTS AND DISCUSSION

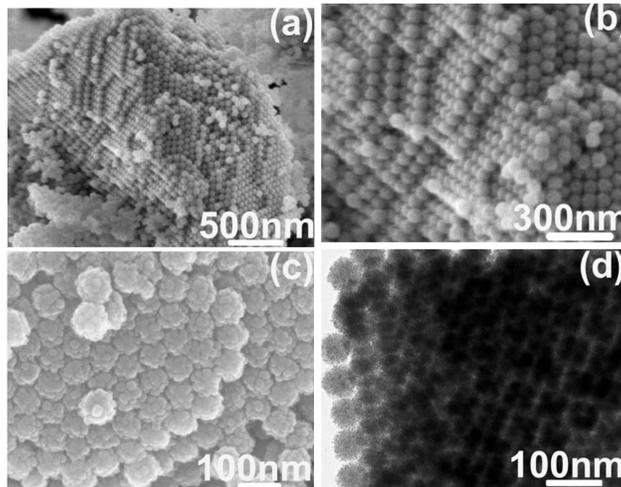


Fig. 2 Electron microscopy images of the as-prepared SnO<sub>2</sub>/rGO super structural building blocks in scanning and transmission modes. Representative FESEM images of the SnO<sub>2</sub>/rGO super structural building blocks at (a) low and (b, c) high magnification; (d) TEM image of the SnO<sub>2</sub>/rGO super structural building blocks.

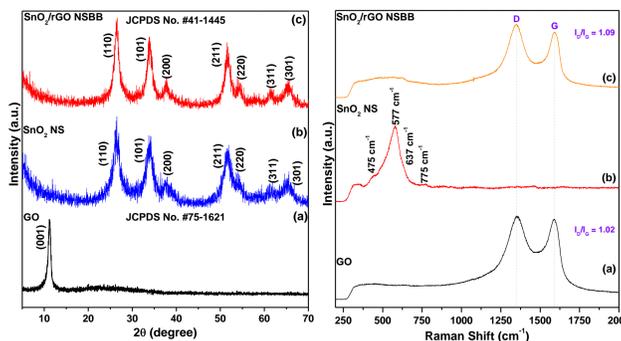


Fig. 3 Powder X-ray diffraction pattern and micro-Raman spectra of as-prepared GO, pristine SnO<sub>2</sub> and SnO<sub>2</sub>/rGO composite.

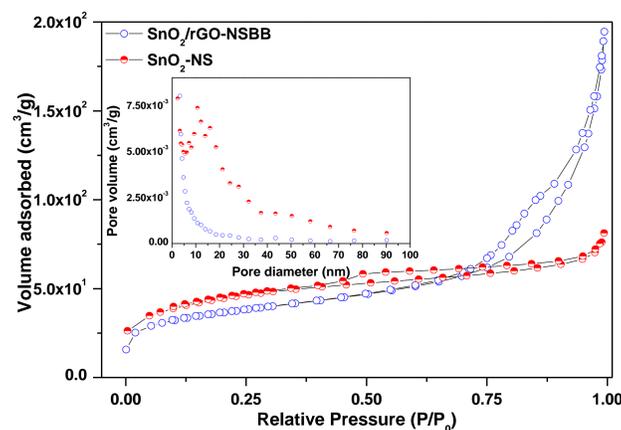


Fig. 4 Surface area analysis of as-prepared pristine SnO<sub>2</sub> and SnO<sub>2</sub>/rGO composite.

## HEPTANE AND DECANE SENSING CHARACTERISTICS

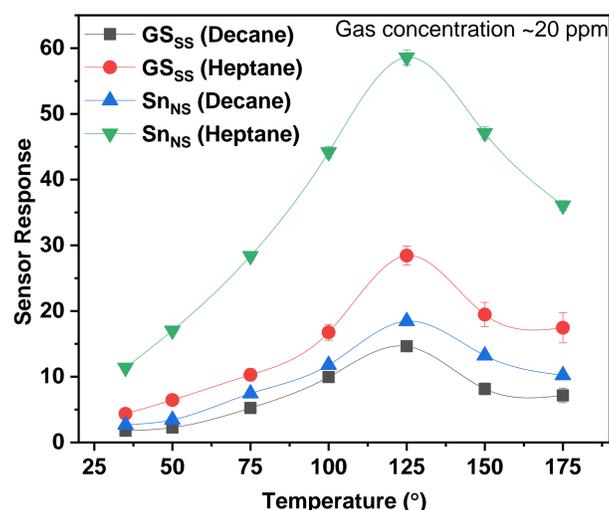


Fig. 5 Heptane and decane sensing characteristics of the as-prepared SnO<sub>2</sub> nanospheres (SnNS), SnO<sub>2</sub>/rGO super structural building blocks (GS<sub>SS</sub>) as a function of operating temperature;

## HEPTANE AND DECANE SENSING CHARACTERISTICS

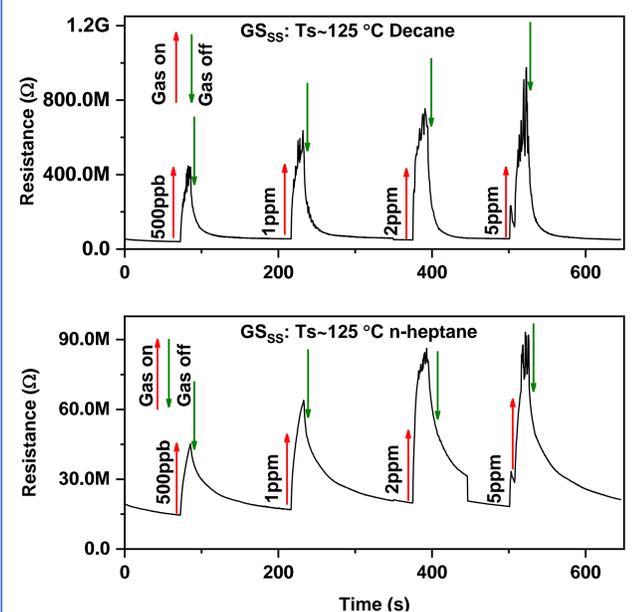


Fig. 6 Dynamic sensing characteristics of the sensors based on GS<sub>SS</sub> architecture to different concentration of heptane and decane at 125 °C.

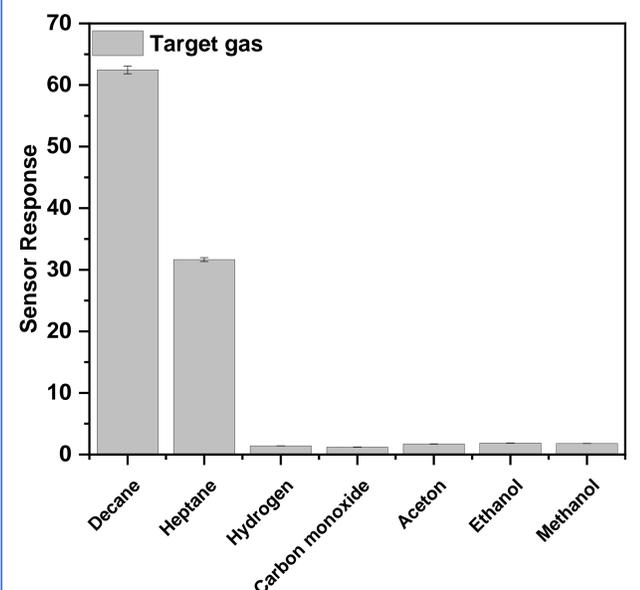


Fig. 7 Gas sensing characteristics of SnO<sub>2</sub>-rGO building blocks sensor in the presence of several interfering gases

## CONCLUSION

In summary, a novel SnO<sub>2</sub>/rGO super structural building blocks was prepared by a facile method. The as-prepared materials were investigated in detail for their morphological and crystal structure properties through different analytical techniques and the obtained results were consistent. The as-prepared materials were systematically investigated for heptane and decane sensing at different operating temperatures. The sensing studies revealed that SnO<sub>2</sub>/rGO super structural building blocks resulted in great enhancement in the heptane and decane sensing response.

## REFERENCES

1. Hakim, et al., Volatile organic compounds of lung cancer and possible biochemical pathways, Chem. Rev., 2012, 112, 5949.
2. Peng, et al. Diagnosing lung cancer in exhaled breath using gold nanoparticles, Nat. Nanotechnology, 2009, 4, 669.
3. Broza et al. Nanomaterial-based sensors for detection of disease by volatile organic compounds, Nanomedicine 2013, 8, 785.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work is supported by the National Research Foundation of Korea (Grant No. 2015R1A4A1041746 and No. 2020R111A1A01073562).