광메카트로닉스공학과 뉴스레터 5월호

모든 이의 가슴에 꿈에 희망이 가득한 5월의 봄, **광메카트로닉스공학과 뉴스레터를 발간합니다.** 파릇파릇 돋아난 새순이 봄햇살에 무럭무럭 자라나는 것처럼 최신 연구분야 소개와 전문지식에 관한 소양을 길러 우리의 꿈과 희망도 봄 햇살 가득 받고 쑥쑥 자라나길 기대해봅니다. - 편집부 -

ARTICLE

Nano Technology Produeces Longer-lasting Lithuim Battery

질화붕소(BoronNitride)의 나노 코팅으로 리튬 배터리의 수명과 안전성, 두 마리 토끼를 모두 잡다.

정지현 (17학번)

Columbia University School of Engineering 팀이 리튬 금속 배터리에서 고체 전해질을 안정화하는데 BN을 나노 코팅하여 그 수명을 안전하게 연장하는 방법을 개발했다 밝혔다. 현재 사용되고 있는 기존의 리튬 이온 배터리는 에너지 밀도가 낮아 수명이 짧고 배터리 내에 들어있는 가연성의 액체 전해질 때문에 short out 되거나 화재가 발생할 수도 있다는 단점이 있다. 연구팀은 이를 개선하기 위해 음극에 흑연을 대신하여 리튬 금속을, 가연성의 액체 전해질 대신 고체 세라믹 전해질을 사용하였다.

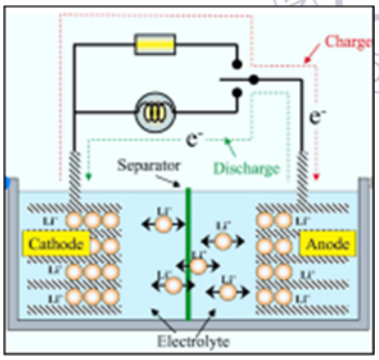


그림 1. 리튬 이온 배터리 모식도

리튬 이온 배터리는 양극, 음극, 전해질, 분리막의 4가지의 구성 요소로 이루어져 있다. 양극은 리튬 이온 배터리의 용량과 전압을 결정하는 부분으로 리튬 산화물이 들어가는 공간이다. 이때 리튬을 많이 포함하면 용량이 커지며 음극과 양극의 전위차가 커지면 전압 또한 커지게 된다. 음극은 양극에서 나온 리튬 이온을 가역적으로 흡수하거나 방출하면서 외부 회로를 통해 전류를 흐르게 하는 역할을 수행한다. 음극에는 구조적 안정성, 낮은 전자 화학 반응성, 리튬 이온에 대한 큰 저장 용량 등의 조건을 갖추어야 하며 주로 흑연이 사용된다. 전해질이란 리튬 이온이 양극과 음극 사이를 오갈 수 있도록 도와주는 매개체 역할을 하는 물질로 리튬 이온을 잘 이동시킬 수 있도록 이온 전도도가 높은 물질이 주로 사용된다. 분리막은 배터리의 안전성을 결정짓는 구성요소로 양극과 음극이 서로 섞이지 않도록 물리적으로 막아주는 역할을 하면서와 동시에 리튬 이온을 통과시키는 역할을 수행한다. 리튬 이온 배터리는 충전 시에 양극에 있는 리튬이 음극으로 이동하여 음극에 있는 흑연의 층상 구조 사이로 끼어든다. 방전 시에는 음극에 있던 리튬이 자연 산화되며 전해질을 통해 양극으로 이동하여 다시 리튬 산화물을 이룬다. 이것이 리튬 이온 배터리가 작동하는 방식이다. 리튬 이온 배터리는 가볍고 다른 전지와 비교했을 때 에너지 밀도가 높은 편이기 때문에 배터리의 소형화를 실현시켜 휴대용 기기들의 크기를 줄이는데 큰 공헌을 했다. 그러나 온도에 민감하여 온도가 높을수록 노화가 빠르게 진행되고 인화성의 성질을 가지고 있어 화재의 위험도 있다. 리튬 이온 전지가 비교적 높은 에너지 밀도를 가짐에도 불구하고 여전히 널리 상용화되기까지는 부족함이 있다. 따라서 흑연보다 더 큰 에너지 용량을 가진 물질을 이용해 에너지 밀도를 향상시킴으로써 이러한 문제를 해결하기 위해 리튬 금속과 고체 전해질을 사용하는 방식이 제시되었다.

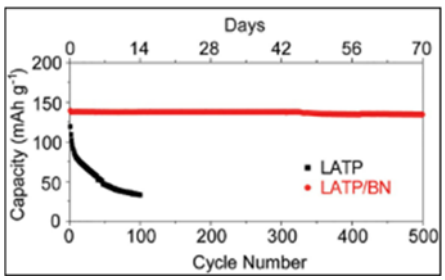


그림 2. 고체 전해질만 이용한 배터리와 고체 전해질 및 BN나노코팅을 이용한 배터리의 수명 비교

연구팀은 배터리의 에너지 밀도를 높임과 동시에 안전성을 향상시키기 위해 이론적으로 에너지 용량이 흑연의 10배에 달하는 리튬 금속을 음극에 배치하고 전해질로는 가연성의 액체 전해질 대신 고체 세라믹 전해질을 사용했다. 문제점은 리튬 금속을 사용했을 때 리튬 덴드라이트가 성장하여 분리막을 뚫어 회로에 단락이 발생하거나 고체 전해질이 리튬 금속에 의해 쉽게 부식될 가능성이 있다는 것이다.

따라서 연구진은 이 고체 전해질을 리튬 음극으로부터 보호하기 위해서 BN 나노 필름을 보호층으로 사용했다. BN은 화학적, 기계적으로 안정하고 리튬 금속에 대해 높은 절연성을 보인다. 또한 CVD 방식을 통해 5~10nm의 두께로 쉽게 증착될 수 있으며 이는 배터리의 에너지 밀도를 낮추지 않는 가장 얇은 두께이다. 즉 BN의 나노 코팅을 통해 금속이 전해질로 침투하는 것을 방지함으로써 리튬 금속 배터리의 수명을 연장시킬 수 있는 것이다. 뿐만 아니라 고체 전해질을 사용함으로써 기존의 배터리에 비해 안전성과 에너지 밀도를 모두 개선할 수 있을 것으로 기대되며 개선된 배터리는 차세대 전지로 드론, 자율주행 차, 무인 잠수정 등의 무인 이동체 산업에 큰 파급력을 미칠 것으로 기대된다.

참고: 1. CHENG, Qian, et al. Stabilizing Solid Electrolyte-Anode Interface in Li-Metal Batteries by Boron Nitride-Based Nanocomposite Coating. *Joule*, 2019.

사진 자료: 그림1. The combustion behavior of large scale lithium titanate battery - Scientific Figure on ResearchGate.

그림2. Credit: Qian Cheng/Columbia Engineering

NANO TECHNOLOGY + BIO TECHNOLOGY = NBT

이재원 (15학번)

Nano Technology를 통해 발전하는 진단 의학 (1), 금 나노 입자를 활용한 돌연변이 유전자 검진

최근 고려대학교 심상준 교수 연구팀이 금 나노 입자를 이용하여 BRCA1 유전자의 점 돌연변이를 감지하는 방법을 개발하였으며 관련 연구 논문이 2019년 2월 19일, Nature Communications에 게재되었다.

BRCA1은 암 억제 유전자 중 하나로 이 유전자들은 암이나 종양으로 발전할 수 있는 DNA의 손상을 복구하는 역할을 하는데, 돌연변이 BRCA1 유전자를 가질 경우 유방암 발병률이 80%에 달한다고 한다. 이전의 돌연변이 유전자 검출 방법과는 달리 이번에 심상준 교수 연구팀에서 개발한 돌연변이 유전자 검출 방법은 2분만에 BRCA1유전자의 점 돌연변이를 감지해 낼 수 있는 것으로 알려졌다. 심상준 교수 연구팀은 금 나노 입자를 이용하여 BRCA1 유전자의 점 돌연변리가 발생했을 때 해당 염기쌍과 결합하는 단백질인 MutS단백질이 BRCA1유전자의 점 돌연변이와 결합하는 과정을 발견하는 센서를 개발하였다.

금 나노 입자는 bulk상태 및 마이크로 스케일에서 나타나는 특성보다 다양한 광학적, 전자기적, photoluminescence 특성을 가지고 있어 각각의 성질에 적합한 진단용 기기와 결합하여 질병 진단에 활용되고 있다.

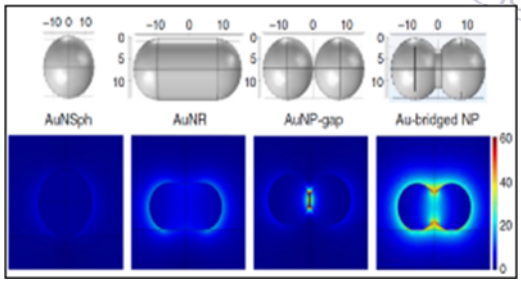


그림 1. 나노 입자의 구조에 따른 광산란 민감도 차이

심상준 교수 연구팀에서 개발한 센서에서는 금 나노 입자의 광학적 특성을 이용하였는데 광산란에 특히 민감하게 반응하는 입자의 나노 구조, Bridge 구조를 발견해내 센서에 적용한 것이다. 위 그림은 여러 가지 구조의 금 나노 입자들의 빛 굴절률에 대한 민감도를 나타낸 것이다.

측정 결과 금 나노 입자의 Bridge 구조에서 광산란에 대한 민감도가 가장 높았다. 이러한 광산란에 대한 높은 민감도를 이용하여 소수의 MutS 단백질 결합과정도 검출할 수 있게 되어 BRCA1 유전자의 돌연변이를 검출할 수 있는 것이다. 심상준 교수는 이 연구를 통해 극소량의 시료로도 다양한 유전적 질환을 빠르게 진단할 수 있으므로 의료 현장에서 폭넓게 활용될 수 있을 것이라고 예견하였다.

참고 및 사진 자료: MA, Xingyi, et al. Single gold-bridged nanoprobes for identification of single point DNA mutations. *Nature communications*, 2019, 10.1: 836.

Nano Technology를 통해 발전하는 진단 의학 (2), 그래핀 기반 nanozyme의 합성

KIAST의 이진우 교수 연구팀이 최근 그래핀 기반 nanozyme을 합성해내는 데 성공하였으며 이에 관련된 논문이 2019년 3월 25일, ACS NANO에 게재되었다.

Nanozyme이란 nano와 효소를 뜻하는 enzyme을 합한 말로, 효소의 특성을 가진 나노 스케일의 효소 모방 물질을 말한다. 효소는 복잡한 구조를 가지고 있을 뿐만 아니라 특정 온도 및 특정 반응에서만 촉매 작용을 하기 때문에 인공적으로 합성하기 힘든 단백질이다. 이번 이진우 교수 연구팀에서 개발한 nanozyme는 과산화효소를 모방한 물질이다.

아세틸콜린은 신경전달물질 중 하나로 알츠하이머 진단 마커로 여겨진다. 아세틸콜린은 산화 과정에서 과산화수소를 배출하는데 과산화효소는 과산화수소와 반응 시 푸른색으로 변하는 특징이 있어 아세틸콜린을 검출해 시각적으로 확인할 수 있는 수단 중 하나이다.

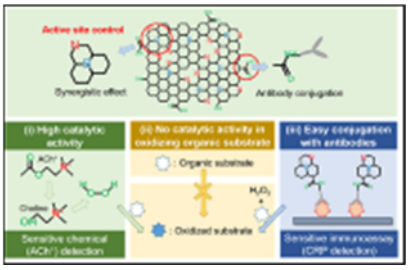


그림 1. 그래핀을 이용한 nanozyme

실제 과산화효소는 안정성과 생산성이 낮고 가격이 비싸 현장에서는 효소 모방 물질을 일반적으로 사용해왔다. 하지만 기존에 사용되고 있는 과산화효소 모방 물질은 과산화수소가 없는 상황에서도 색이 변하는 것과 같은 문제점 때문에 정확도가 떨어진다.

이진우 교수 연구팀은 나노 스케일의 그래핀에 질소와 붕소를 첨가하여 높은 정확도 및 활성도를 가지는 효소 모방 물질을 개발하였다. 이 물질은 질소와 붕소를 이용하여 active site를 조절할 수 있으며 이를 통해 보다 높은 촉매 효과를 이끌어 낼 수 있는 것으로 나타났다. 또한 기존의 모방 물질에 비해 다른 물질과의 반응성이 현저히 낮으며 타겟이 되는 항체와의 결합력은 보다 뛰어난 것으로 확인되었다. 따라서 기존

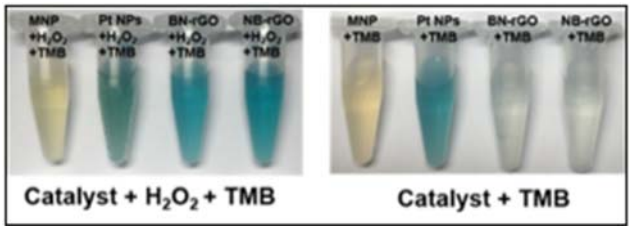


그림 3. 과산화효소 모방 물질의 산화효소 활성에 대한 시각적 확인

의 과산화효소 모방 물질에 비해 더욱 높은 정확성 및 반응성을 효소 모방 물질을 개발한 것이다.

이진우 교수는 "이번 연구를 통해 효소의 높은 활성뿐 아니라 선택성까지 가질 수 있는 물질을 합성하고 알츠하이머의 진단 마커인 아세틸콜린을 효과적으로 시각적 검출할 수 있는 기술을 확보했다"라고 연구 의의를 밝혔다.

참고 및 사진 자료: KIM, Min Su, et al. N-and B-Codoped Graphene: A Strong Candidate To Replace Natural Peroxidase in Sensitive and Selective Bioassays. *ACS Nano*, 2019.

빛 그리고 돌로 만드는 반도체

반도체 PHOTOLITHOGRAPHY에 대한 모든 것

박하민 (18학번)

20세기 말, 반도체 산업이 급부상하며 반도체 리소그래피 기술이 주목받기 시작했는데 여러 리소그래피 기술 중 가장 일반적인 mask를 이용한 포토리소그래피를 소개하고자 한다.

포토리소그래피(Photolithography)란 원하는 회로설계를 유리판 위에 금속 패턴으로 만들어 놓은 마스크(mask)에 빛을 쬐어 생기는 그림자를 웨이퍼 상에 전사해 복사하는 기술로 반도체의 제조 공정에서 설계된 패턴을 웨이퍼 상에 형성시키는 중요한 공정이다. 반도체 소자는 3차원 구조물이지만 2차원적 레이어들의 층상 구조로 생각할 수 있다. 따라서 CAD와 같은 프로그램을 이용하여 2차원 레이어들로 나누어 회로설계가 가능하다. 2차원 회로를 펜으로 일일이 그린다면 아주 많은 시간이 소요되겠지만, 삽화로 표현했듯이 마스크라는 하나의 원판을 정확하게 제작한 후 빛을 사용하여 같은 모양의 패턴을 반복하여 복사하면 짧은 시간 내에 소자의 대량 생산이 가능하다.

리소그래피 공정을 통해서는 선택적인 보호막을 형성하여 부분적인 식각이 가능하게 하는데 포토리소그래피 공정만으로 3차원 구조가 만들어지는 것은 아니기 때문에 박막 증착과 식각 등 여타 단위 공정을 조합해야 한다. 그렇다면 포토리소그래피의 자세한 공정 과정은 아래와 같다.

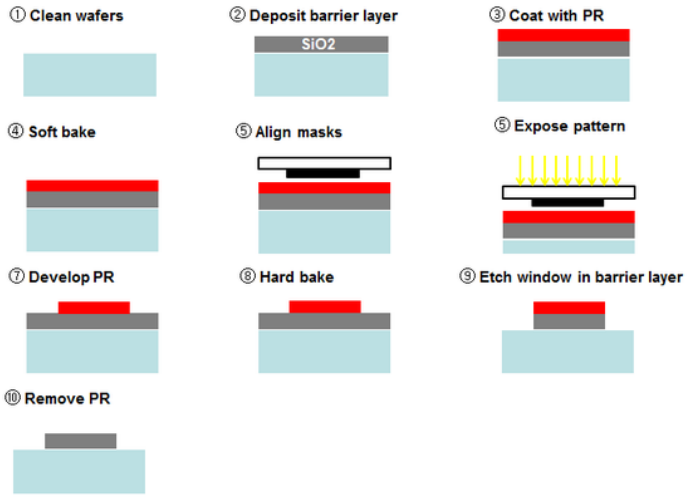


그림 1. 포토리소그래피 공정 모식도

① Clean wafers

웨이퍼 표면의 유기물, 이온, 금속 불순물의 오염을 막기 위해 화학적으로 세척한다. 세척과정 동안 오염이 제거된다.

② Deposit barrier layer

웨이퍼 세척 후 실리콘 웨이퍼에 SiO2, Si3N4, PolySi 등의 장벽층을 생성시킨다. 실리콘 웨이퍼의 표면을 산화시켜 SiO2 층을 생성시키는 일반적인 방법이다.

③ Coat with PR (Photoresist)

장벽층을 형성한 후 웨이퍼 표면에 빛에 민감한 감광제를 도포한다. PR과의 접착력을 증진시키기 위해 접착제 역할을 하는 HMDS를 미리 도포하다. 감광제는 일반적으로 용액의 상태로 사용하며 웨이퍼를 진공 척에 물리고 회전을 통해 표면에 균일하게 퍼뜨리는데 이 과정을 Spin Coating이라 한다.

④ Soft bake (=Prebake)

PR Coating 후에는 감광제에 남아 있는 유기 용매를 제거하고 접합을 향상시키기 위해 건조 과정인 soft bake를 실시한다. 웨이퍼를 60~100도 정도로 가열하여 용매를 제거하고 PR 밀도를 높여줌으로써 접착력을 강화시킨다.

⑤ Align masks

마스크를 웨이퍼의 패턴에 정확히 배열한다.

⑥ Expose pattern

감광막에 빛을 조사하여 패턴이 형성시킨다. 원하는 패턴이 형성된 mask를 기판과 align하고 빛을 조사함으로써 패턴이 형성된다.

⑦ Develop PR

현상액 및 세척제를 이용하여 식각되어야 할 부분에 존재하는 감광막을 제거하는 과정이다.

⑧ Hard bake

Expose(노광)와 Develop(현상)을 마친 후, 감광제를 굳게하고 기판에 잘 접합시키기 위해 약 120~180도에서 20~30분간 굽는 작업이다.

⑨ Etch windows in barrier layer

⑧ 과정이 끝나면 감광제로 보호되지 않은 부분의 장벽물질을 습식 또는 건식 에칭을 이용하여 원하는 모양대로 제거한다.

⑩ Remove PR

실리콘 산화막에 창을 뚫은 후 표면에서 감광막을 제거하는 과정으로 액체 감광제 스트리퍼나 산소플라즈마 시스템 안에서 감광제를 산화시키는 등의 방법을 통해 감광막을 제거한다.

포토리소그래피는 IC patterning process, printed electronic board, nameplate, printer plate 등에 이용되고 있지만 보다 높은 리소그래피 해상도를 가지는 방법이 계속해서 개발되고 있다. 그 중 광학 리소그래피의 확장인 극단 자외선 리소그래피(extreme ultraviolet lithography, EUVL) 기술은 극도로 짧은 파장을 구현해냄으로써 높은 리소그래피 해상도를 얻을 수 있는 방법으로 주목받는 광학 기술 중 하나로 떠오르고 있다.

참고: 1. MIYAJIMA, Hiroshi; MEHREGANY, Mehran. High-aspect-ratio photolithography for MEMS applications. *Journal of microelectromechanical systems*, 1995, 4.4: 220-229.

사진 자료: 그림 1, 2. 네이버 블로그, "포토리소그래피," https://blog.naver.com/kore2758_/221163951973

My Motivation

김희연 (19학번)

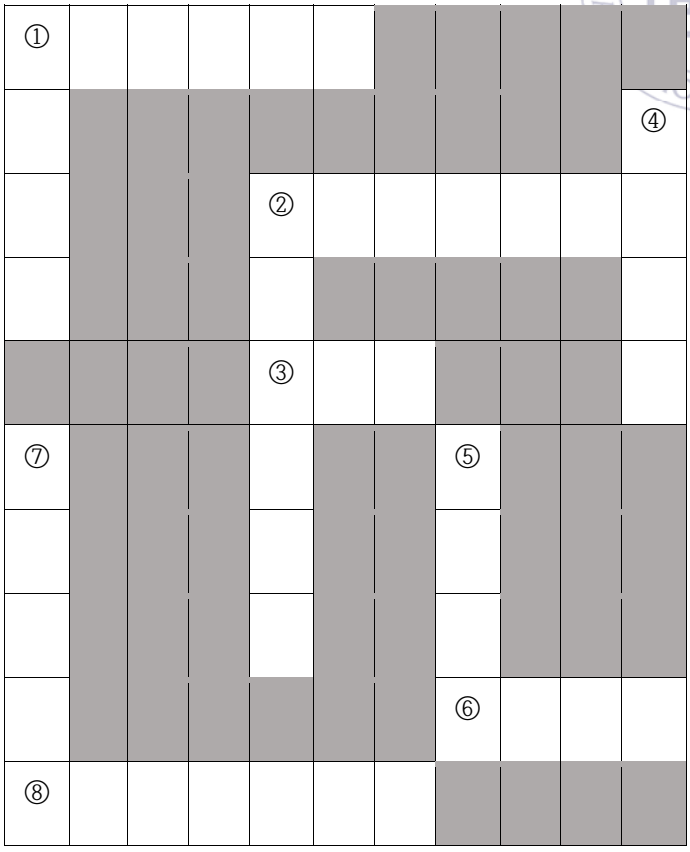
얼마 전 공학기반입문 수업으로 정세영 교수님의 '단결정은행연구소'를 주제로 한 특강을 듣게 되었다. 나는 고등학교 3학년 때 2018년 제22회 한국결정성장콘테스트에 참가하여 부산대학교 밀양캠퍼스에서 1박 2일 동안 '나노체험썸머캠프'에 다녀온 경험이 있다. 캠프에서 먼저 정세영 교수님의 특강을 먼저 들을 수 있었고, 이번 수업을 통해 '단결정은행연구소'에 대해 더 자세히 알 수 있게 되었다.

교수님께서는 물리를 전공하셨지만 '단결정은행연구소'에서 결정을 키워 연구원들에게 시료를 제공함으로써 연구를 지원하시는 일을 하신다. 여기서 단결정이란 한 고체 덩어리 전체가 동일한 규칙성을 가지고 있는 결정을 말한다. 그림1.은 '단결정은행연구소'에 있는 단결정 소재 중 일부이다. 이러한 단결정 소재들은 생활 주변의 여러 센서부터 컴퓨터 분야, 광통신, 의료장비에 적용할 수 있다. 최근에는 유전체 단결정 소재가 첨단 장비, 광학장비, 통신장비 등의 분야에서 주목받고 있다. 여기서 유전체 단결정이란 정전기장을 가할 때 전기편극은 생기지만 직류전류는 생기지 않게 하는 단결정을 말한다. 예를 들어 유전체 단결정은 그 특성에 따라 인접 채널의 신호를 정형화하여 화질 및 음질을 양호하게 하는 밴드 패스 필터(BPF)인 무선통신기용 SAW필터, 광직접소자 설계, 적외선(IR) 센서 개발 등에 이용된다.

또한, 교수님께서 우리에게 진심 어린 조언도 해주셨다. 단결정은행을 하시다 보면 그래핀을 키워달라는 사람들이 많다고 하셨다. 하지만 교수님께서 그래핀을 연구하지 않고 구리 박막을 연구하신 이유는 그래핀을 연구하는 사람들이 많기 때문이라고 하셨다. 많은 연구실이나 업체에서 구리 박막도 필요로 하는데 구리 박막을 만드는 연구실이 많이 없다고 하시며 남들과의 차별성, 본인만이 가질 수 있는 유니크함을 강조하셨다. 앞으로 우리는 어떤 일을 하면서 살아갈 것인지 고민을 하게 될 것이다. 너무 많은 사람들이 몰린 곳은 치열한 경쟁을 해야 한다고 하시며 남들이 필요로 하지만 많은 사람들이 하지 않는 것을 찾아보는 것도 굉장히 도움이 된다고 말씀하셨다. 교수님의 말씀을 듣고 나의 진로에 대해 고민할 때 이런 부분도 생각해 보게 되는 뜻 깊은 수업이었다.

EVENT

본 뉴스레터에 실린 기사들 중 키워드가 되는 단어들이 포함된 십자 말풀이 입니다. 십자 말풀이의 정답을 다음 메일 (jdw05260@gmail.com) 로 보내주신 분들 중 추첨을 통하여 소정의 상품을 드리니 많은 참여 부탁드립니다.



<세로>
세로 1번 : 나노미터 수준의 물질을 코팅시키는 것.
세로 2번 :
반도체 웨이퍼 표면에 마스크 패턴 이미지를 옮기는 공정
세로 4번 : 실리콘의 표면에 전자 부품과 회로를 구성한 것.
세로 5번 : 우주를 구성하는 총 물질의 23% 이상을 차지하며, 전자기파를 통해 관측할 수 없으며 오로지 중력을 통해서만 존재를 인식할 수 있는 물질.
세로 7번 : 보존력이 작용하는 공간 내에 있는 물체가 위치에 따라 잠재적으로 가지는 에너지.

<가로>
가로 1번 : 전자회로에서 논리 게이트 혹으은 스위치 역할을 하는 나노소자
가로 2번 : 약 500회 가량의 충방전이 가능한 수명을 갖기ㅗ 있는 리튬 기반의 배터리
가로 3번 ; 탄소들이 벌집 모양의 육각형 그물로 배열된 평면 형태의 소재. 꿈의 신소재라고도 불림
가로 6번 : 흑연과 유사한 결정 구조를 갖는 B와 N의 화합물
가로 8번 : 사람마다 고유의 특성 차이를 나타내는 손가락 지문의 영상 정보를 획득하는 입력 영상 장치