

차세대 전자기기 핵심부품 '초저유전 커패시터' 개발

- 반도체 및 광대역안테나 등 고전압·플렉서블 소자에 적용 기대



▲ (왼쪽부터) 김봉중 교수, 김민우 박사

국내연구진이 슈퍼컴퓨터, 광대역 무선통신, 고전압 장치에서 안정적으로 활용 가능한 **메타구조 커패시터***를 개발하였다.

* 커패시터: 도체에 다량의 전하를 일시적으로 저장하는 전기부품. 축전기라고도 함.

한국연구재단(이사장 이광복)은 **김봉중 교수(광주과학기술원)**와 **줄리아 그리어 교수 (Julia R. Greer, 캘리포니아공대)** 연구팀이 **3차원-나노라티스*** 구조를 이용하여, 반복되는 압축변형에도 **초저유전율****을 유지하고 **절연파괴 강도*****가 지속적으로 회복되는 커패시터를 개발했다고 밝혔다.

* 3차원-나노라티스(3D-nanolattice): 삼차원 레이저 식각과 원자층 증착 기술을 이용하여 만든 세라믹 나노튜브가 단위 셀 형태로 규칙적으로 배열된 메타물질

** 초저유전(Ultra low-k dielectric): 1.5이하의 낮은 유전 상수 (dielectric constant)

*** 절연파괴 강도(Dielectric breakdown strength): 전기적으로 절연된 물질 상호간의 전기저항이 감소되어 금속 수준의 많은 전류가 흐르게 되는 순간의 전압

많은 차세대 전자기기가 **고전압 배선을 사용하고, 기계적 변형에도 신뢰성을 유지하는 플렉서블한 형태로 진화함에 따라 전기 및 유전적 안정성이 높은 저유전 물질을 이용한 커패시터 개발이** 요구된다.

기존의 저유전 물질은 유전율을 낮추기 위해 다공도(porosity)*를 높여왔다.

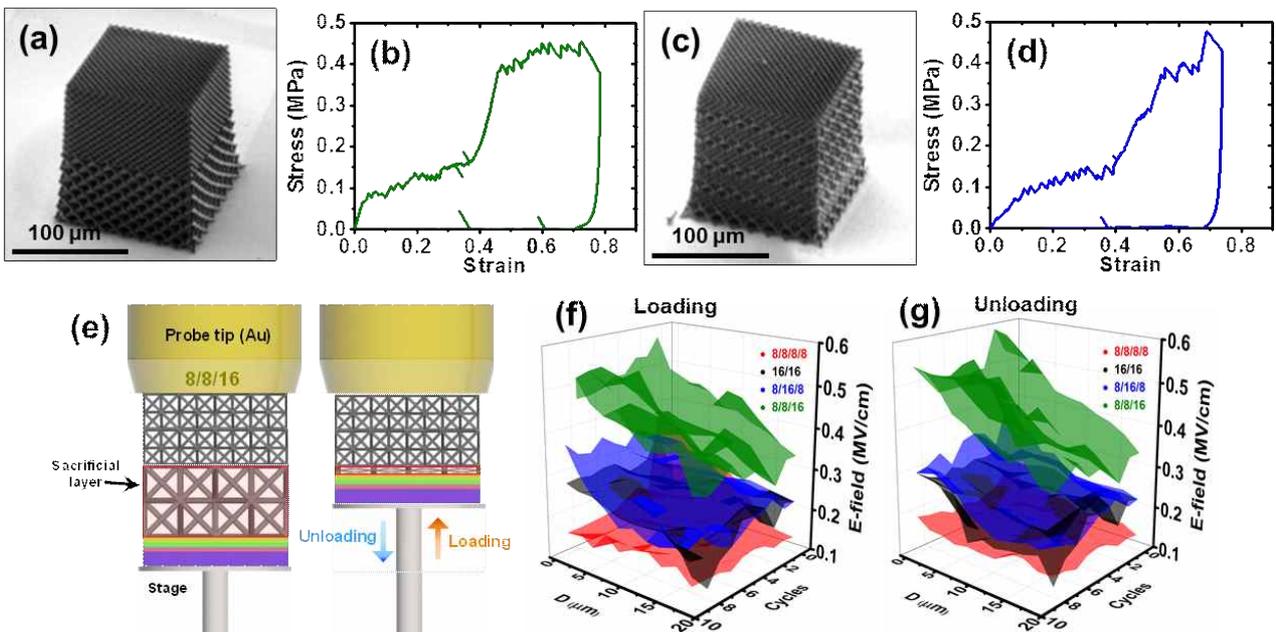
하지만 다공도가 높은 물질은 기계강도와 절연파괴강도가 약해지고 열 안정성이 낮아지는 한계가 있었다.

연구팀은 선행연구를 통해 기계적 압축에도 절연파괴와 초저유전 특성 회복이 가능한 다공도 99%의 나노라티스 커패시터를 개발한 바 있다. 하지만 5번의 압축 사이클과 25%의 작은 변형에서만 성능을 회복할 수 있어 상용화에는 어려움이 있었다.

* 다공도(Porosity) : 다공질 물질에서 전 부피에 대한 구멍 부분의 부피 비율

이에 연구팀은 단일 밀도와 단위 층으로 이루어진 기존 나노라티스를 저밀도와 고밀도 두 개 층이 혼합된 불균질 구조로 개선해 문제를 해결하였다.

시험 결과 나노라티스에 응력을 가하면 저밀도 층이 먼저 변형되기 시작해 전체 라티스의 50%가 변형 될 때까지 고밀도 층은 응력으로부터 완전히 보호되었다.



▲ 초저유전 커패시터와 이들의 기계적 응력-변형을 관계 및 압축변형에 대해 스스로 회복되는 절연파괴 강도 결과. (a,b) 둘로 양분된 밀도분포를 가진 초저유전 커패시터의 이미지와 응력-변형을 관계

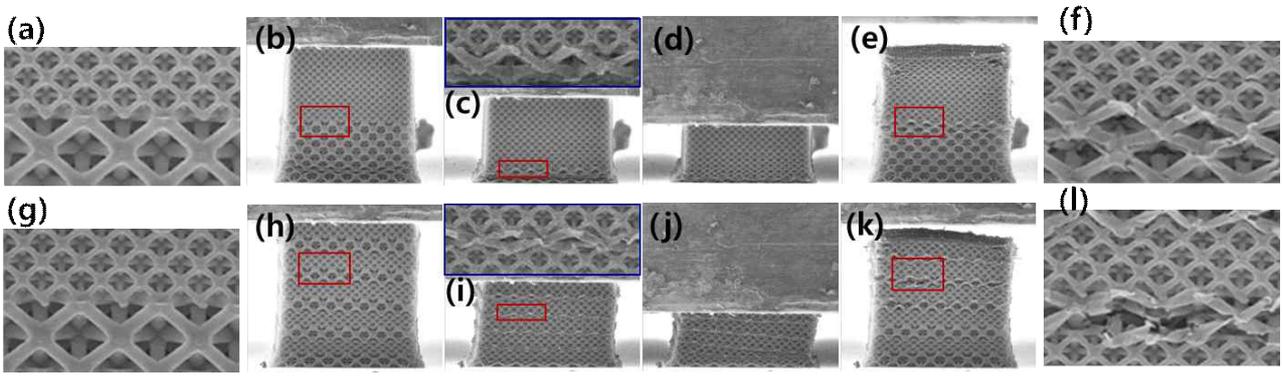
(c,d) 반복적인 밀도분포를 가진 초저유전 커패시터의 이미지와 응력-변형을 관계

(e) 압축 변형에 대한 전기/절연적 특성을 측정하는 모식도

(f) 압축 변형 시 압축정도와 응력 사이클 수에 따른 누설전류밀도

(g) 압축 변형 제거시 압축정도와 응력 사이클 수에 따른 누설전류밀도

또한 62.5%의 변형과 100번의 압축 사이클 동안 절연파괴와 초저유전 특성이 안정적으로 회복됐으며, 단일 밀도의 나노라티스 보다 최대 3.3배 높은 절연파괴 강도를 기록했다.



▲ 저/고 밀도 층이 양분된 나노라티스와 저/고 밀도 층이 반복된 나노라티스에서 압축응력 인가 시 일어나는 변형. (a-f) 저/고 밀도 층이 양분된 나노라티스에서 응력인가 전부터 응력제거 시까지 순차적으로 일어나는 변형, (g-l) 저/고 밀도 층이 반복된 나노라티스에서 응력인가 전부터 응력제거 시까지 순차적으로 일어나는 변형

김봉중 교수는 “이번 연구는 기계적 복원력과 열 및 전기적 안정성을 동시에 가지는 초저유전 물질을 개발한 데 의의가 있다”라며 “향후 유연한 전자기기 시스템이나 전기자동차, 우주, 항공 분야 고전압 시스템에 이용할 수 있을 것으로 기대된다”라고 말했다.

과학기술정보통신부와 한국연구재단이 추진하는 중견연구지원사업으로 수행된 이번 연구 성과는 재료분야 국제학술지 ‘어드밴스드 머티리얼즈(Advanced Materials)’ 온라인 판에 11월 15일 frontispiece로 게재되었다.

주요내용 설명

<작성 : 광주과학기술원 김봉중 교수>

논문명	Enabling durable ultralow- k capacitors with enhanced breakdown strength in density-variant nanolattices
저널명	Advanced Materials
키워드	Density-variant nanolattice(밀도변화 나노라티스), Ultralow- k (초저유전률), Mechanical deformation(기계적 변형), Electrical breakdown(전기적 파괴), Electrical conduction mechanism(전기적 전도 기구)
DOI	https://doi.org/10.1002/adma.202208409
저자	김봉중 교수(대표 교신저자/GIST), 줄리아 그리어 교수(Julia Greer, 공동 교신저자/Caltech), 김민우(제1저자/뉴욕대학교), 맥스 리프슨 박사(Max Lifson, 공동 1저자/Caltech)