

초전도 가능성 지닌 새로운 유형의 반도체 개발

(2025.12.10. 양자정보연구지원센터)

□ 초전도 특성을 지닌 새로운 반도체(게르마늄) 개발

- 개요: 반도체와 초전도체의 결합이라는 오랜 과제
 - 반도체(반도체 칩 · 태양전지 핵심 소재)를 초전도체로 만드는 것은 속도 · 에너지 효율 향상과 양자기술 혁신을 위해 과학계가 오래 추구해온 목표
 - 실리콘 · 게르마늄 같은 반도체에서 초전도성을 구현하기 어려웠던 이유는 원자 구조 유지의 난이도와 전도전자 밀도 확보 문제 때문
 - 안정적 구조를 유지하면서 초전도 전달 특성을 구현하는 것이 핵심 난제, 이 문제를 해결하기 위해 원자 수준 구조 제어 기술이 필수적이었음
- 주요 연구 성과: ‘초전도 게르마늄(super-Ge)’ 최초 구현
 - 국제 공동 연구팀(NYU · University of Queensland · ETH Zurich · Ohio State University 등)은 게르마늄에서 0 저항 초전도성을 구현하는 데 성공(Nature Nanotechnology에 발표)
 - 초전도는 전기 저항이 0이 되어 에너지 손실 없이 전류 흐름을 유지가능한 상
 - 연구팀은 게르마늄에 다량의 갈륨(Ga)을 첨가하는 새로운 도핑 방식으로 안정적 구조 내 초전도성을 확보
 - 일반적 고농도 도핑은 결정 붕괴를 유발해 초전도 실현 불가
 - 이번 연구는 갈륨 원자가 게르마늄 원자를 높은 농도로 정확히 대체하도록 유도해 전자쌍(pairing)을 가능하게 함
 - 3.5K(섭씨 약 -453° F)에서 초전도성 관측
 - 결정 구조는 변형되지만 안정적으로 유지되어 전류 무저항 흐름 가능
- 핵심 기술: 결정 구조 제어 및 고정밀 도핑 혁신
 - 기존의 이온주입 방식 대신 분자선 에피타키(molecular beam epitaxy, MBE) 기술을 사용
 - 원자 단위 정밀 결정 성장 가능 → 초전도성 발현에 필요한 구조

적 정밀도 확보

- 첨단 X-선 분석으로 갈륨이 게르마늄 격자 내에서 실제로 치환되고 안정적 위치를 형성한다는 점 확인
- 고농도 Ga 도핑에도 결정 붕괴 없이 초전도 유지
- 게르마늄 초전도체의 산업·과학적 의미
 - 게르마늄은 기존 반도체 칩·광섬유·고급 전자부품에서 이미 널리 사용됨 → 초전도성이 추가되면 산업적 파급력 매우 큼
 - 기존 반도체 제조 생태계(파운드리)와 호환 가능해 스케일업 및 상용화 가능성이 높음
 - 이 연구로 웨이퍼 규모에서 수백만 개의 조셉슨 접합(Josephson Junction)을 제작할 수 있는 길 열림
- 양자 기술과의 연계 가능성: 미래지향적 확장성
 - LQMs는 “Quantum”의 AQ(Artificial Intelligence + Quantum) 기술 프레임워크와 연관되지만, 현재 GPU 기반 기존 하드웨어에서 충분한 성능을 발휘함
 - 향후에는 QPU(양자 컴퓨터)와 자연스럽게 결합해 오늘날 계산 불가능한 초고난도 문제까지 해결할 잠재력을 가짐
- 과학적 원리: 그룹 IV 원소의 구조 변화에 따른 초전도성 발현
 - 게르마늄·실리콘은 금속과 절연체 사이 특성을 갖는 그룹 IV 반도체로, 원래는 자연적 초전도를 보이지 않음
 - 구조 변형을 통한 전도전자 밀도 증가 및 전자쌍 형성 유도 시 초전도성 가능
- 연구 확장성 및 향후 전망
 - 기존 반도체 제조 공정과 적합해 조셉슨 접합·양자 센서·초전도 논리회로 등 차세대 양자장치 제조에 유리
 - 기존 반도체 기반에서 초전도성을 안정적으로 구현한 최초의 사례 중 하나로, “양자소자·초저전력 컴퓨팅·고성능 센서 산업에 큰 변화를 가져올 ‘재료 혁명’”으로 평가됨

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/11/28/superconducting-germanium-study/>