완성형 교육 자료: 고순도 구리(6N-9N) 및 그 응용

(구조화, 과학적 논증, 모든 데이터 통합)

목차

---

1. 기본 특성 및 분류

1.1 물리화학적 특성

파라미터	수치
원자 번호	29
원자량	63.55 u
녹는점	1084°C
끓는점	2560°C
전도도 (또는 전기 전도도)	58–59 MS/m（알루미늄의 1.7배）
열전도도	401 W/(m·K)

1.2 동위원소 조성

- 안정 동위원소：
  - Cu-63（69.17%）、Cu-65（30.83%）。
- 불안정 동위원소：
  - Cu-67（반감기 62시간）、Cu-64（반감기 12.7시간）

1.3 순도 등급 기준

등급	순도	불순물 한계치	응용 분야
6N	99.9999%	≤1 ppm	전자, 3D 프린팅, 촉매

7N	99.99999%	≤0.1 ppm	양자 기술, 국방 산업
8N–9N	99.999999–99.9999999%	≤0.01 ppm	과학 연구 (핵융합)

---

2. 채광 및 1차 가공

2.1 동광 자원

•원광:

•황동석 ($CuFeS_2$)、공작석 ($CuCO3·Cu(OH)_2$)。

•재생 구리: 전 세계 생산량의 30% 차지.

2.2 채광 방법

방법	공정 설명	생산 순도
건식 제련	배소 → 용해 → 취련	98–99% Cu
습식 제련	황산 침출 → 전해	99.99% Cu（4N）

2.3 전 세계 채굴량 (2023년)

국가	생산량 (백만 톤)	시장 점유율
칠레	5.0	28%
중국	1.75	8%
러시아	2.2	10%

---

3. 6N–9N 급 정제 기술

3.1 정련 방법

방법	원리	순도	장점
전해 정련	조동 양극 → 4N급 음극 구리	4N（99.99%）	저비용
영역 용융	20~30회 용융대 통과 → 불순물 제거	6N	고순도
전자빔 용해	진공 + 전자빔 조사 → O_2, H_2 제거	7N–9N	무산소 구리 (OFHC)

3.2 기술 비교

- **6N급:** 영역 용융 + 화학 정련.
- **7 N+급:** 전자빔 용해 + GDMS 연동.

---

4. 초미분말 생산

4.1 형상 및 입도 분류

형상	입도	제조 기술	응용 분야
구형	0.1–50 마이크로미터 (마이크로미터 급)	가스 분무법	3D 프린팅, 전도성 페이스트
	50–200 나노미터 (나노미터 급)	플라즈마 화학 합성법	나노 전자 소자
플레이크 형상	1–100 마이크로미터	기계적 볼밀링법	내마모 코팅
덴드라이트 형상	10–500 마이크로미터	저전류밀도 전해법	촉매, 다공성 전극
나노와이어	20–100 나노미터 × 10 마이크로미	CVD/전기화학 증착법	플렉시블 전자

4.2 핵심 파라미터

- **6N급:**
  - 입도: 12–15 마이크로미터 (기준), 맞춤형 나노급 가능.
  - 불순물: O ⩽ 5ppm, Fe ⩽ 1ppm.
- **7N 급:**
  - 입도: 50 – 200 나노미터.
  - 불순물: O ⩽ 0.5ppm, C ⩽ 1ppm.

---

5. 산업적 응용

5.1 전자 및 에너지

제품	적용 시나리오	필요 순도
인쇄 회로 기판	5G 기기 동선	6N
배터리 (CATL)	집전체, 냉각 시스템	6N–7N
초전도 재료	ITER/MRI 자석	7N

5.2 국방 산업

- 탄약: 탄피 (6N급 미크론 분말).
- 스텔스 기술: 7N급 나노 분말을 이용한 전파 흡수 코팅.

5.3 의료 분야

- 항균 표면: 병원 문손잡이 (6N급).
- X선관: OFHC 구리 양극 (7N급).

5.4 기타 응용

- 고출력 마그네트론의 회전자 축 및 고정자 권선
- 진공 커패시터
- 진공 장비용 개스킷
- 반도체 및 기판의 베이스 또는 기초
- 군용 장비 발전기 등
- 전기 장비 부품
- 전자석 및 유도로 코일
- 커넥터
- 반도체 기판용 방열판
- 베이퍼 챔버, 자동차 배터리 등;
- 전기 공학 재료

---

6. 불순물 제어 및 표준

6.1 불순물 한계치

원소	6N（ppm）	7N（ppm）	영향
O	≤5	≤0.5	산화막 → 저항 증가
Fe	≤1	≤0.1	자기적 간섭
S	≤2	≤0.2	접점 부식
C	≤10	≤1	소결 기공률 증가

6.2 분석 기술

방법	분석 원소	감도

글로 방전 질량 분석법 (GDMS)	금속 불순물 (Fe、Ni、Cr)	0.001 ppm
유도 결합 플라즈마 질량 분석법 (ICP-MS)	S、O、C	0.01 ppm
X선 형광 분석법 (XRF	원자 번호 > Na인 원소	10 ppm

6.3 국제 표준

- **6N급:** 러시아 ГОСТ Р 53803-2021, 미국 ASTM B170 (무산소 구리).
- **7N급:** 미국 군사 표준 MIL-C-10539, 중국 GB/T 5231-2012.

---

7. 글로벌 시장 및 물류

7.1 주요 참여자

- **산 업체:**
  - 중국: 장시 구리, 퉁링 유색금속.
  - 러시아: 노릴스크 니켈, 우랄 광업 야금.
- **고객:**
  - CATL (배터리), TSMC (반도체), Lockheed Martin (국방).

7.2 수출 규제

- **자유 수출:** 6N급 미크론 분말 (가전제품용).
- **허가 규제:** 7N+급 나노 분말 (중국 상무부 MOFCOM 승인 필요).

---

8. 주요 질의응답

Q1: 6N 분말 내 Fe 초과 시 유해성은?

- Fe > 1ppm 시 고주파 전자 소자의 자기 간섭이 발생함

Q2: 3D 프린팅에 적합한 분말은?

- 6N급 구형 미크론 분말 (입도 15–45 마이크로미터, C < 10ppm).

Q3: 7N 나노 분말이 더 고가인 이유는?

- 불순물 0.1ppm까지 정제하는 비용 + 수출 허가 비용.

---

9. 용어집

- **OFHC:** 무산소 고전도 구리 (전도도 > 101% IACS).
- **GDMS:** 글로 방전 질량 분석법 (미량 불순물 분석용).
- **CVD:** 화학 기상 증착법