

창립
40주년학술대회
논문 87-E-20-1

은 덕 응
한국 과학기술원

Status & Trends of Research on High Temperature Superconducting Ceramics

Duk N. Yoon

K A I S T

작년과 올해 초에 발표된 고온초전도체는 학문적인 중요성과 인간.군사분야의 실용 가능성 때문에 한국에서 많은 연구의 대상이 되고 있다. 미국에서는 IBM, AT & T, General Electric, Westinghouse, Du Pont 등 대기업이 주축이 되어 여러 국립 연구소와 대학교에서 수천명이 이 연구에 참여하고 있으며, 발표되는 논문도 많아지고 있다. 미국정부는 내년도에 약 7억불의 연구비를 지원할 것으로 확정된다.

일본도 미국과 비슷한 규모로 연구를 하고 있는 것으로 알려져 있으며, 많은 기업이 이 연구에 착수했다는 것이 특색으로, 기업화는 미국보다 일본에서 먼저 이루어질 것으로 보는 사람이 많다. 일본의 한 회사가 이미 수백개의 특허를 신청했다고 하니, 그 연구의 방대한 규모와 빠른 속도를 짐작할 수 있다. 중국과 인도도 이 연구에 초기부터 참여하여 많은 업적을 내고 있다.

이 분야의 연구는 서로 비슷한 방향에 따른 속도로 진행되기 때문에 자료와 정보의 신속한 수집이 중요하다. 미국 에너지성에서는 학술지에 제출된 논문을 수집하여 목록과 조록을 연구자들에게 배포하고 있다. 고온초전도재료에 관한 논문은 여러 학술지에 발표되고 있으며, 가장 신속한 곳은 Solid State Communications, Physical Review, Applied Physics Letters, Nature, Japanese Journal of Applied Physics 등이다. 이에 관한 새로운 책도 약 100여권이 이번 가을에 미국에서 출판될 것이라고 한다.

고온초전도체의 기본적인 것은 이미 국내의 학술지에¹⁾⁻⁵⁾ 여러번 소개되었으므로, 여기서는 초전도재료 연구의 동향과 문제점을 살펴 보겠다. 최근에는 심온초전도체도 보고되고 있으나, 아직 미확인된 상태이므로, 여기서는 주로 임계온도 T_c가 98°K로 알려진 Ba₂YCu₃O_x계 재료에 관한 연구에 관하여

Ba₂YCu₃O_x 화합물은 산소량 가 약 6부터 7사이

에 존재하며, x는 온도와 분위기외 산소분압에 따라 결정된다. 이 화합물은 변형된 perovskite 결정구조를 가진 것이 X-ray 와 neutron diffraction으로 밝혀졌으며, x가 6.63 이상일때 Orthorhombic 구조를 가지며 초전도성을 나타내는 것이 알려졌다.⁶⁾ x가 6.63이하이면 tetragonal 구조가 되면서 고온초전도성은 없어지게 된다. 고온 neutron diffraction으로 이 orthorhombic tetragonal 변화는 임종의 order-disorder 장변화인 것이 밝혀졌다.⁷⁾ 그러므로 시편의 제조에서 orthorhombic 구조를 갖도록 산소량을 높이는 것이 중요하며, 이는 약 600°C 에서 산소분위기에서 열처리하면 된다.

Ba₂YCu₃O_x시편을 가장 쉽게 만드는 방법은 BaCO₃CuO, Y₂O₃ 분말을 잘 섞어서 공기중 900°C 에서 약 10시간 열처리하여, 본쇄하고 성형한 후 산소분위기, 950°C 에서 약 5시간 소결하여 서서히 냉각시키는 것이다. 이렇게 소결한 시편은 대체로 기공이 많으나, 초전도체의 기본적인 특성은 가지게 된다. 이런 시편은 보통 Ba₂YCu₃O_x 외에 다른 상도 갖게 되는데, 이러한 문제와 소결 조건 등을 규명하기 위하여 BaO-Y₂O₃-CuO 계의 상태도도 밝혀지고 있다.⁸⁾

한편 특성의 향상을 위하여 소결제품의 조성을 균일하고 정확하게 맞추는 등 여러가지 분말합성법이 시도되고 있다. 일반적으로 쓰이는 sol-gel coprecipitation, freeze drying 등 방법으로 좋은 결과를 얻었다는 보고가 있으며, 합금 또는 산화물을 용융하여 급냉하는 것도 시도되고 있다. 소결에 대해서는 법도 체계적으로 연구된 것이 없으며, 소결밀도를 올리기나 입자 (grain) 들을 나란히 하기 위해 hot pressing, sinter-forging, powder rolling 등이 시도되고 있다.

초전도체의 사용에는 전류밀도가 보통 10⁵A/cm² 이상 이어야 하는데, 분말방법으로 만든 다결정체에서는 최고전류밀도가 약 10³A/cm² (액체실소

온도)에 그치고 있어 신재등의 응용에 큰 어려움을 주고 있다. 그러나 결정의 방향성이 있는 박막에서는 축의 직각 방향으로 전류밀도가 10^5A/cm^2 에 도달할 수 있음을 보여주고 있다. 어느 정도의 가능성은 있는 것으로 보인다. 다결정체에서 전류밀도가 낮은 이유로는 입계에 있는 불순물이나 다른 장, 또는 전자기록성의 2방성을 들고 있는데, 이 문제를 해결하기 위하여 한 방향으로 높은 입자들의 형성도 제안되고 있다.¹⁰⁾ 전류밀도의 증가는 신재실용화의 큰 난제로 남아 있으며 이에 많은 연구가 집중되고 있다. 이 문제의 해결을 위해서 소위 flux-pinning 의 가능성도 규명되어야 할 것이다.

박막 (thin film) 에 대한 연구는 computer 등 주로 전자 분야의 응용 때문에 많이 진행되고 있다. Electron beam, ion beam, magnetron sputtering, MBE 방법 등이 시도되고 있으며, epitaxial 성장을 시키면 a-b 면 (Cu-O 원자면)으로는 전류밀도가 10^5A/cm^2 (액체실온도에서) 가량 되어⁹⁾ 실용 가능성이 꽤 큰 것으로 나타났다. 따라서, 박막재료는 몇년내에 실용화되리라 기대하는 사람도 많다.

최근에는 실온 또는 더 높은 온도에서도 초전도성이 있다는 보고가 많이 있으나 아직 확인은 안되었다. 이러한 물질의 조성과 결정구조도 이미 규명된 것으로 알려져 있으나 아직 공식으로 발표는 안되었다. $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_x$ 에 fluorine 을 첨가하면 초전도 임계온도가 올라가는 것으로 발표되었으나¹¹⁾ 이는 실온 초전도 물질은 대부분 불안정하여 며칠, 또는 몇주후에는 초전도성이 없어지는 것으로 알려져 있다. 지금의 추세로는 실온 초전도체의 확실한 발견도 시간문제인 것 같다.

결론적으로 $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_x$ 계 재료의 합성과 제조는 비교적 잘 알려진 재액식 방법으로 되고 있다. 따라서, 우리가 쉽게 생각할 수 있는 일반적인 방법은 이미 다 시도되었다고 볼 수 있다. 그러나, 생산을 위한 공정의 최적화는 아직 안된 상태이다.

이 분야의 연구를 처음으로 시작하는 사람들은 흔히 실온 초전도체의 발견에 관심을 갖게되나, 이에 관한 물리학적 기초적 이론도 정립되어 있지 않다. 따라서, 조짐변화의 방향도 찾기 힘든 형편이다. 따라서, 이러한 연구는 도박성을 많이 갖게 되어, 그 성패는 운에 많이 달려게 된다. 그러므로 미국에서는 초전도를 연구하는 재료과학자들 중 약 10% 이하만 실온 초전도체의 발견에 주력하는 것으로 알려져 있다.

전세계에서 수만명의 과학자가 고온 초전도체 연구에 몰두하고 있으므로, 중요한 연구는 1-2년 내에 끝날 것이라는 견해도 있다. 이같은 상황에서 의미하는 연구의 방향을 모색하는 것이 중요한 임박 하였다.

참 고 문 헌

- 1) 김도연, 강석중, 윤덕용, "산화물 초전도체", 요업재료의 과학과 기술, 2권, pp.172 (1987)
- 2) 권순우, "초전도성의 이론과 응용", 신금속, pp. 2 (1987)
- 3) 김정구, "초전도체의 연구 개발현황과 전망", 신금속, 제22호 pp. 3 (1987)
- 4) 태도권금치 "초전도재료의 진보", 신금속 제 22호, pp. 11 (1987)
- 5) D.Dagani, Clem. & Eng. News, May, pp.7(1987)
- 6) P.K.Galloger, Advanced Ceramic Materials Vol. 2, No. 3B, pp.632(1987)
- 7) J.D.Jorgensen, et al(submitted to Phys, Rev).
- 8) R.S.Roth, et al, Advanced Ceramic Materials, Vol, 2, No. 3B, pp.303(1987)
- 9) P.Chaudhari, et al, J.Phys. Rev. Lett. Vol. 58, pp.2684(1987)
- 10) J.W.Ekin, et al, J.Appl, Phys. (submitted for publication)
- 11) S.R.Ovskinsky, Phys, Rev. Letters, Vol.58, pp.2579(1987)