

초전도체의 현황과 전망

김 정 구

서울대학교 물리학과 교수

초전도현상은 물질의 전기적 저항이 없는 완전도체 성질과, 또한 외부에서 자기장을 가하더라도 물질 내부로는 자기장이 투과할 수 없는 완전방자성 성질 등 두가지 성질로써 특징지어진다. 그리고 초전도현상이 일어나는 온도는 물질에 따라 다르며 이 온도를 흔히 임계온도 T_c 라고 부른다.

1911년 화란의 Kamerlingh Onnes에 의하여 우연히 수의 초전도현상이 발견된 이래, 많은 물질들이 극저온에서 초전도 현상을 보이는 것이 밝혀졌으나, 86년까지 가장 높은 임계온도를 가진 물질은 지난 73년에 발견된 Nb_3G 의 $T_c = 23.2K$ 였다. 그리고 이론적인 측면에서는 1957년 미국의 Bardeen, Cooper, Schrieffer가 「초전도 현상은 도체내의 전자들이 보통 정상 상태에서는 저항의 원인이 되는 전자-격자진동간의 상호작용에 의하여 어떠한 임계온도 이하에서는 전자쌍(Cooper pair)을 이루면서, 페르미 에너지준위에 에너지 간격이 생겨서 전류는 아무런 손실없이 흐를 수 있다.」는 유명한 BCS 이론을 발표하였다. 이러한 BCS 이론에 의하면 임계온도는 전자-격자진동간의 상호작용상수 λ 와 Debye 온도(θ_D)와

$$T_c = \frac{\theta_D}{1.45} \exp \left[- \frac{1.04}{\lambda - \mu^*} \frac{(1 + \lambda)}{(1 + 0.62 \lambda)} \right]$$

의 관계가 있음이 밝혀졌다. 여기서 μ^* 는 전자간의 Coulombic 상호작용을 나타낸다.

BCS 이론을 기초로 한 최고 임계온도의 예상치는 34~40K 로써 고온초전도체의 실현은 불가능한 꿈이라는 인식이 있었다. 그러나 1986년 스위스 IBM의 Bednorz와 Miller가 $LaBaCuO$ 에서 30K의 초전도 현상을 발견한 이후 86년말에서부터 지금까지 임계온도는 거의 폭발적으로 증가하여 현재 질소의 비중점 77K 보다 높은 약 98K의 고온초전도체가 개발된 상태이다. 금년초 $La_{2-x}BaxCuO_4$ 의 임계온도가 40K까지 올라간 것이 보고된 이래, Houston의 Chu 그룹이 93K 초전도체 개발을 2월중순경에 발표하였으며, 곧 이어 AT&T 그룹, IBM 그룹, stanford 그룹 역시 95K 가량의 초전도체 개발을 발표하였으며, 일본에서는 Tokyo의 Tanaka 그룹에서도 95K 초전도체 개발을 보고했다. 국내에서는 서울대학교에서 역시 95K 초전도체제작에 성공했다.

—1986년 LaBaCuO에서 30K의 초전도 현상을 발견한 이후 86년말에서부터 지금까지 임계온도는 거의 폭발적으로 증가하여 현재 질소의 비중점 77K보다 높은 약 98K의 고온초전도체가 개발된 상태이다.—

이러한 고온초전도체는 금속이 아니라 복합산화물로 이루어진 ceramic이다. 임계온도가 40~50K 인 초전도체는 $La_{2-x}M_xCuO_{4-y}$ ($M = Ba, Sr, Ca$) 이며 K_2NiF_4 구조를 지니고 있으며 임계온도가 90K 인 초전도체는 $Y, Ba_2Cu_3O_{6-y}$ 로써 산소가 부족한 orthorhombic perovskite structure 를 지니고 있다. 제작방법은 주로 고온에서 소결(sintering)시켜서 만들며 기계적 연성이 좋지 않아서 단단하지만 쉽게 부서진다. 전기적 특성은 four point contact 방법으로 저항을 측정하고 또한 Magnetic susceptibility 추정으로 초전도성을 확인한다. 이러한 고온초전도체의 가장 큰 구조적 특징을 CuO_3 가 octahedral 을 형성하여 layer 성질을 보이고 있다는 점이다. 즉, Cu_3O_3 Octahedral layer 위에 La 또는 Y layer 가 있고 그 위에 또 CuO_3 octahedral layer 가 있는 2 차원적 구조를 보이고 있으며, 또한 CuO_3 octahedral 이 찌그러진 상태를 보이고 있어서 격자진동에 “breathingmode”를 형성할 수 있다. 또한 Oxygen이 부족한 상태에서 Cu^{3+} 와 Cu^{2+} 의 mixed valence 상태가 존재하여 이들의 임계온도가 높은 것과 밀접한 관계가 있

을 것으로 짐작된다.

현재 이들 고온초전도체 제작방법이 소결 과정을 거쳐서 ceramic 상태로 되기 때문에 기계적 연성이 나빠서 응용가능한 wire 형태로 만들기까지는 상당한 노력이 필요할 것으로 짐작된다. 그러나 앞으로, 이들 고온초전도체의 여러가지 초전도특성 -예를들면 에너지 간격과 전자격자진동 결합상수 λ 등-을 밝혀내고 또한 여러가지 다른 dopant 를 사용하였을 때의 효과, 그리고 CuO_3 Octahedral의 대치 가능성 등을 조사하여, 이들이 고온초전도체가 되는 이유 등을 밝혀 낸다면 기계적 연성이 좋은 초전도체의 개발이 멀지 않을 것으로 짐작된다.

그리고 소규모 응용(Josephson 접합)에서 필수적인 중착방법에 의한 고온초전도체의 합성법이 개발되면 고속 IC 소자 등도 가능할 것이다. 이러한 것이 가능하게 되기 위하여서는 앞으로 많은 연구가 있어야 하겠지만 지금 현재 이 분야의 발전속도를 보면 예상보다 빨리 실용화 될지도 모르겠다. 초전도체가 반도체와 더불어 인류사회에 전기적 혁명을 가져올 수 있기를 기대한다.