

Ceramics Superconducting Electronic Device for Infrared detector

이 상 현[†]
(Sang-Heon Lee)

Abstract - The ceramics superconductor may have a high degree of homogeneity and a more open structure through which atoms can easily diffuse without having to overcome the high activation barrier. Infrared detectors of ceramic superconductor materials have been studied. Ceramic superconductor have smaller reflection coefficient than metal superconductor and therefore infrared light can more easily penetrate into bulks. YBCO thick films show sensitivity of 250 V/W. The accumulation of particles decrease the superconducting energy gap.

Key Words : YBCO, Thick Films, Melting Process

1. 서 론

카메를링오네스에 의하여 극저온에서 초전도 현상이 발견된 이래 90년가량이 흘렀으나, 초전도 기술을 상용화 하기 위한 많은 노력이 수행 되었다. 액체질소의 비등점인 77K 이상에서 초전도현상을 나타내는 고온 초전도재료의 발견은 초전도 현상의 산업응용에 대한 기대를 고조시키고 있다. 초전도발전, 자기부상 열차(Mag lev), 초전도 추진 선박, 자기공명 단층 촬영 등의 기술은 초전도체의 강자계를 이용하는 반면, 송전이나 전기저장과 같은 전력분야 응용은 초전도체의 제로 저항을 이용하여 전력손실을 최소화 한다. 또한, 핵융합과 같은 새로운 에너지 생산기술 분야 에도 초전도체의 활용이 필수적이다. 초전도체의 형태는 응용분야에 따라 다르다. 정보통신 분야에 사용되는 초전도체는 박막형태로, 초전도 자석응용분야는 선재형태로, 자기부상 응용분야는 벌크형태로 만들어서 사용된다. 벌크 초전도체 응용분야는 초전도체의 우수한 통전성과 낮은 열전도도를 이용하는 전류 인입선, 전력계통 안정화를 위한 초전도 한류기, 자석과 초전도체간의 자기부상을 이용하는 자력부상, 외부자장을 차폐하는 특성을 이용한 자기차폐, 초전도체에 자력을 속박시켜 영구자석으로 만들어 사용하는 초전도 영구자석 등이 있다. 최근 천체관측 및 고체의 격자진동에 관한 연구와 미생물의 온도변화 관측에 있어서 파장 1 μ m 이상의 적외선 영역을 탐사 할 수 있는 고기능성 광 검출 소자의 출현이 요구 되고 있다. 파장 1~10 μ m의 범위에서는 비교적 고감도인 PbS, InSb, InAs, HgCdTe 등의 재료를 사용한 photo diode가 개발되어 30 μ m의 범위까지 응용 되고 있다. 마이크로파의 광

범위한 파장영역에서 고감도이며, 빠른 응답속도가 기대 될 수 있다. 극도로 미약한 광을 검출하려면, 온도에 의한 잡음을 제거하여야하며, 소자를 저온에서 냉각하여 측정하여야한다. 산화물 초전도박막에 의한 적외선 검출 실험은 1975년부터 본격적으로 시도되었으며, 현재 고온 초전도 산화물의 발견으로 인하여 YBaCuO, BiSrCaCuO, TlBaCaCuO 등 동산화물계의 박막에 의한 광 검출 소자가 국내는 물론 미국, 일본을 위주한 각국의 대학 및 초전도 관련 국가 연구기관 중심으로 본격적으로 연구되고 있다.

2. 실험 방법

precursor 재료로는 순도 99.9%의 Y₂O₃, BaCO₃, CaCO₃, CuO를 사용하였다. 순도 99.7%의 Zr을 첨가 하였으며, 질산 수용액에 용해 될 수 있는 순도 99%의 ZrO(NO₃)₂ · 2H₂O를 사용하였다. 원료 분말을 물비로 평량한후, 혼합하여 질산에 용해한 후, 시트르산 수화물(C₆H₆O₇ · H₂O, 특급시약, 함량 61%) 및 에틸렌글리콜((CH₂OH)₂, 특급시약, 순도 99.5%)을 첨가하였다. 시트르산 및 에틸렌글리콜은 출발 원료중에 포함되는 금속이온의 총 원자가수 및 polymer상 화합물의 최적비에 대응하는 필요량을 첨가하였다. 혼합용액을 hot plate위에 놓고 약 90℃의 온도에서 2~3 시간 가열 각반 하여 원료분말을 합성 하였다. MgO (100)을 기판으로 하여 HCl과 H₂O₂의 혼합 용액에서 세척하여 기판 표면의 불순물을 제거하였다. 기판의 온도는 850℃-980℃를 유지 하여, 5시간 열처리 하였다.

3. 결과 및 고찰

일반적으로 초전도체 내부에는 cooper pair라고 하는 스핀의 방향이 상하의 2개의 전자가 결합되어 초전도 상태를 유지하고 있다. cooper pair가 형성되면, 에너지가 저하 되어

[†] 교신저자, 정회원 : 선문대학교 공대 전자공학과 부교수 · 공박
E-mail: shlee@sunmoon.ac.kr

접수일자 : 2009년 11월 3일

최종완료 : 2009년 11월 9일

pair를 형성하지 않을 때 보다 안정하게 되어 pair를 형성하지 않는 전자 (준입자) 와 cooper pair의 전자 간에 cooper pair의 전자간의 Energy gap (2Δ)가 발생한다. 이 2Δ 는 수 meV 정도의 크기이며, 반도체의 Energy gap보다도 1 order 정도가 작다. 따라서 0K 이외의 유한 온도영역에서는 초전도상태가 되어도 gap위에는 얼마간의 준입자가 존재하게 된다. 준입자는 온도의상승과 더불어 증가하며, 동시에 2Δ 가 감소하여 전이온도에서는 Cooper pair가 소실되어 2Δ 도 0이 된다. 이러한 2Δ 는 초전도 상태를 나타내는 중요한 parameter가 된다.

광 조사에 의하여 photon이 초전도체의 박막내부로 침투되면cooper pair와 충돌하여 파괴되며, 준입자를 생성하여 2Δ 가 감소하게 된다. 이론적으로는 준입자의 밀도를 n_{pq} , Fermi 준위에 있어서 상태 밀도를 $N(0)$ 로 하면, 2Δ 의 변화 ($\delta 2\Delta$)는 n_{pq} 가 작을 경우 다음과 같이 식으로 나타낸다.

$$\delta\Delta = -\frac{n_{qp}}{N(0)} \quad (1)$$

$n_{pq}/N(0)$ 에 비례하여 감소하므로 $N(0)$ 가 작은 재료 일수록 변화가 크게 나타난다. 본 연구의 초전도 시료는 약 0.15states/unit cell eV spin이며, 이 값은 일반적인 금속 초전도체보다 1 order 작기 때문에 n_{pq} 에 비하여 금속 초전도체 보다도 큰 변화를 기대할 수 있다.

$$I_c = \pi \left[\frac{\Delta(T)}{2eR_n} \right] \tanh \left[\frac{\Delta(T)}{2K_B T} \right] \quad (2)$$

R_n 은 접합의 상전도상태의 저항, T 는 접합의 온도, K 는 볼츠만 상수를 나타낸다. $T < T_c/2$ 이하에서는 이식은

$$I_c \approx \frac{\pi\Delta(T)}{2eR_n} z \quad (3)$$

임계전류의 변화 δI_c 는

$$\delta I_c = \frac{\pi\delta\Delta}{2eR_n} = \frac{\pi n_{qp}}{2eR_n N(0)} \quad (4)$$

전압 2Δ 에 있어서 I-V 특성은 이러한 변화에 대응하여,

$$\delta V = \frac{2\delta\Delta}{e} = \frac{n_{qp}}{eN(0)} \quad (5)$$

$$I_c = \pi \left[\frac{\Delta(T)}{2eR_n} \right] \tanh \left[\frac{\Delta(T)}{2K_B T} \right] \quad (6)$$

R_n 은 접합의 상전도상태의 저항, T 는 접합의 온도, K_B 는 볼츠만 상수를 나타낸다. $T < T_c/2$ 이하에서는 이식은

임계전류의 변화 δI_c 는

$$\delta I_c = \frac{\pi\delta\Delta}{2eR_n} = \frac{\pi n_{qp}}{2eR_n N(0)} \quad (7)$$

전압 2Δ 에 있어서 I-V 특성은 이러한 변화에 대응하여,

$$\delta V = \frac{2\delta\Delta}{e} = \frac{n_{qp}}{eN(0)} \quad (8)$$

만큼 변화한다.

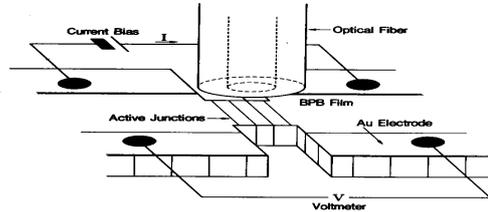


그림 1 초전도 후막 시편의 측정회로

Fig. 1 Measurement circuit of superconducting thick film sample.

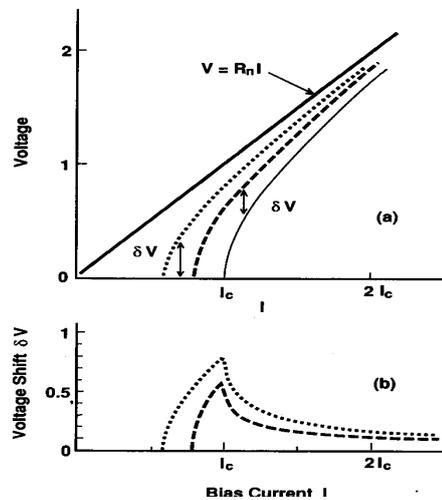


그림 2 초전도 후막 시편의 전류 전압특성

Fig. 2 Current-Voltage Characteristics of superconducting thick film sample.

YBCO 다결정 thick film을 이용하여 패턴을 형성하고, 양측을 전류bais와 전압변화를 측정하기위한 전극으로 하였다. $2\mu\text{m}$ 의 laser광을 조사하여 이때의 변화를 4단자 법으로 측정하였다. I-V 특성을 측정하여 RSJ 모델로 계산한 결과를 그림2에 나타낸다. 그림2(b)는 그림2(a)로부터 각 전류 값에 대하여 δV 를 구하여 나타낸 특성이다. 그림2(b)는 특성의 차이가 적은 접합이 다수 나타나게 되어 도출된 결과로 사료되며, RSJ모델로 설명할 수 있는 것으로 생각된다. 검출부의 면적 (또는 광범의 면적, 두께 약 200nm)과 전압 변화의 관계를 조사하였다. 생성 되는 준입자는 광 조사를 받은 전류 방향의 접합의 수와 광량의 밀도에 비례하므로, 결과적으로 검출부의 폭에 역 비례 한다. 면적 $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ 의 경우에 대하여 전압변화를 입력광량으로 나눈 값을 검출감도라고 하면, $1.5 \times 10^4 \text{V/W}^4$ 가 된다. YBCO 초전도체의 준입자 효과에 의한 광 검출은 S.G.Han에 의해서 보고 되었다. S.G.Han에 의하면, τ_r 은 5 psec로 매우 짧은 결과로 인하여 전체적으로 완화 시간은 길게 나타난다. 또한 감도는 20V/W 로 작게 검출된다. 이와 같이 CuO를 포함한 화합물에서 τ_r 이 길게 관측 되는 이유는, 이들 화합물이 CuO층과

절연 층이 상호 중복되는 2차원적인 구조를 하고 있어서, 열 전도율이 감소하여, phonon이 소실되기 어려운 구조를 하고 있음에 원인이 있다.

4. 결 론

10 μ m 이상의 파장의 적외선을 고감도로 검출할 수 있는 소자의 출현은 천체 관측, 고체의 격자 진동 등의 적외선을 이용하는 연구영역에서는 매우 중요한 연구과제로 여겨진다. 산화물 초전도체에 의한 적외선 검출소자는 유력한 대안으로 사려 되고 있으며, YBCO 다결정 박막의 입계에서 발생하는 조셉슨 접합을 이용하는 경우에는 조성의 변동이 전류-전압특성을 좌우하며, 감도가 1order 변동 한다. 광 입사를 통한 검출기능을 향상하기 위하여는 photon의 밀도가 높을수록 유리하다. 넓게 퍼지는 광을 검출하기 위하여는 meander line 구조로 하여 검출 부분을 길게 하면, 동작속도와 감도는 저하 된다. 또한 전압 bais에 의한 전류의 변화를 검출하면, 전류는 면적에 비례하여 증가한다.

감사의 글

This work was carried out with help of National Research Lab.(NRL) program of Korea Science and Engineering Foundation and Ministry of Science and Technology, Korean government(Grant number M1060000024806J000024810).

참 고 문 헌

[1] M.K.Wu, J.R.Ashburn, C.J.Torong, P.H.Hor, R.L.Gao, Z.J.Hung, Y.Q.Qang and C.W.Chu, "Superconductivity at 93K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure", Phys.Rev.Lett., vol.58, pp.908-910, 1987

[2] M.Haruta, T.Fujiyoshi, T.Sueyoshi, pinning K.Miyahara, T.Ikegami., K.Ebihara, R.Miyagawa, N.Ishters in hsuperconductor"igh Tcigawa, S.Awaji, K.Watanabe, "Influence of columnar defects on pinning parameters", Physica C, vol.412-414, pp.511-514, 2004.
[3] M.Nisenoff, J.C.Ritter, G.Prince and S.A.Wolf, " Space application of high temperature superconductivity", FED Journal, vol.3, Suppl. 1, pp.35-43, 1993
[4] D.Behera, T.Mohanty, S.K.Dash, T.Banerjee, D.Kanjial, N.C.Mishrr "Effect of secondary electrons from latent tracks created in YBCO by swift heavy ion irradiation" Radiation measurement vol.36, pp.125-129, 2003

저 자 소 개



이 상 현 (李 尙 憲)

1989년 일본 TOKAI 대 전자공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전자공학과졸업 (공박). 현재 선문대 전자공학과 교수.

Tel : 041-530-2357

E-mail : shlee@sunmoon.ac.kr