

고온 초전도 트랜지스터의 채널 식각 두께에 따른 임계 특성 자동 측정장치 구축

현종옥, 강형곤*, 고석철, 한병성

전북대학교 전자정보공학부, 전북대학교 반도체 물성 연구소*

Implementation of Automatic measurement system for a Change of channel etching thickness with a HTS Transistor

Ong-Ok Hyun, Hyeong-Gon Kang, Seokcheol Ko, and Byoung-Sung Han
Jeonbuk National Univ.

Abstract

본 연구는 고온 초전도 자속 흐름 트랜지스터의 채널 식각 두께에 따른 임계 특성의 자동 측정을 위해 나노옴/마이크로 볼트 미터 와 전원공급기 등 측정에 필요한 장비들을 GPIB 인터페이스 보드를 통해 PC 와 연결하여 측정 장치를 구축후 직접 제작한 측정 프로그램을 통해 자동으로 시편에 전류, 전압을 가한후 임계 특성값을 효율적인 방법으로 측정하고 측정 결과값들을 시간순서 및 측정 대상에 따라 데이터 베이스화 하는 방법에 대하여 소개한다. 부수적으로 임계 특성의 정확한 측정을 위해 실험에 변수가 되는 요소들을 찾아내고 실험 데이터값들로부터 오차를 발견, 오차의 원인이 되는 식각 방법 및 실험 환경등의 부가적인 요소들을 고려하여 개선된 측정 장치를 구축하는데 경제적, 시간적인 효율성 측면에 대해 언급했다.

Key Words : SFFT, Channel Etching, Measurement, GPIB programming

1. 서 론

초전도 트랜지스터에서 채널의 식각 두께에 따른 임계 특성을 측정하는 기술[1], [2]은 동작특성을 좌우하는 중요한 요소로 알려져 있다. 이는 기존의 전자소자를 대체할만큼 고효율을 가진 새로운 소자를 제작하기 위한 발판이 될 수 있을 것이다. 이를 위해서는 시간적, 경제적으로 효율적인 실험이 이루어져야한다. 자동으로 주어진 물리적 변수값의 변동에 따라 각각의 임계 특성값이 어떻게 변화하는가를 정확하고 빠르게 분석 할 수 있는 최적화된 측정 장치를 구축하는 연구가 이루어져야 한다[3], [4]. 현재 시중에 나와있는 고가의 측정 장비들은 기본적으로 측정에 필요한 프로그램을 함께 배포하고 있으나 특정 실험을 위해 사용할 경우 무용지물이다.

본 연구에서는 특정실험 목적에 맞게 측정 장비를 구축하고 이를 제어할 수 있는 프로그램을 제

작하여 자동화된 측정장치를 꾸미는 방법에 대해 기술했다. 고온 초전도체의 임계 특성을 측정하기 위해서는 액체 질소를 냉매로 사용해서 냉각이 가능한 저온장비에 시편을 장착해 전기적, 자기적, 열적 자극에 대한 계의 반응을 각종 장비를 통해 측정할 수 있다. 측정 결과의 분석을 통해 시편의 임계온도(critical temperature), 임계전류(critical current), 임계자계(critical magnetic field) 및 임계지수(critical exponents) 등을 얻음으로써 계의 임계점 근처에서의 특성을 조사했다.

일단 측정장치가 구축된 뒤 각 장비별로 사람이 수동으로 동작시켜 원하는 값으로 설정한다. 결과값을 읽어 오는데는 시간적으로나 경제적으로 비효율적이므로 실험 장비를 자동 제어할수 있는 프로그램을 실험 목적에 맞게 작성한다. 임의의 시간 주기 또는 임의의 전압, 전류값을 일정 간격으로 증가해서 인가시킨 후 빠른 응답 시간내에 정확한

측정값을 얻을 수 있도록 했다. 수동으로 동작시 문제되었던 물리적 요소(전압, 전류, 저항 및 시간)를 변수로 설정하여 그 값을 변경시키면서 반복적인 실험을 통해 신빙성 있는 결과 데이터를 얻었다. 그 후 이를 데이터베이스화하여 Chart를 통해 차후 언제든지 분석이 가능하도록 했다.

2. 실험

2.1 임계 특성 측정

고온 초전도 자속 흐름 트랜지스터(SFFT)의 제작 모형을 그림 1에 나타냈다. 가장 일반적인 팽리소그래피 기술을 적용하여 바이어스 전류라인의 채널폭을 제외하고 습식식각 방법으로 SFFT를 제작하였다. 핵심기술인 채널폭의 두께를 유도커플링 플라즈마 장비를 사용하여 식각하였다. 이렇게 제작된 초전도 자속 흐름 트랜지스터의 임계특성을 측정하기 위해 그림 2와 같이 실험장치를 구축하였다. 또한 실험장치 및 재료조건들을 표 1에 정리하였다. 임계온도 측정을 위해 시편에 일정한 전압전류(5V, 1mA)를 공급한 상태에서 시편의 전압과 시편주위온도를 Nano Voltage/Micro Ohm Meter를 이용하여 측정한다. 이때 사용되는 장비는 DC Power Supply(6645A, 0~120V / 0~1.5A)이며, 전압 5V 와 전류 1mA를 공급한다. 측정부에 나노미터(34420A)를 연결해서 채널 1에서는 전압 또는 저항을 측정한다. 이때 측정범위는 0V ~ 500 mV이다. 채널 2에서는 온도를 측정하고 측정범위는 -196℃ ~ 25℃이다.

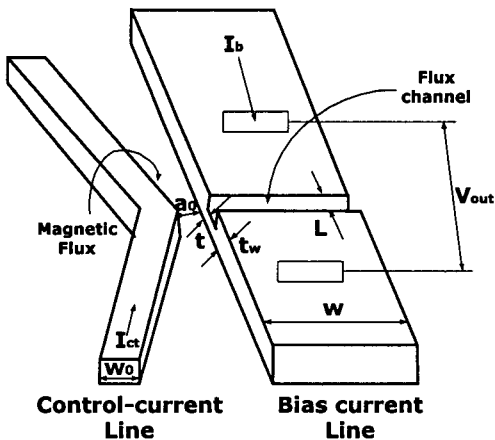


그림 1. SFFT 제작모형.

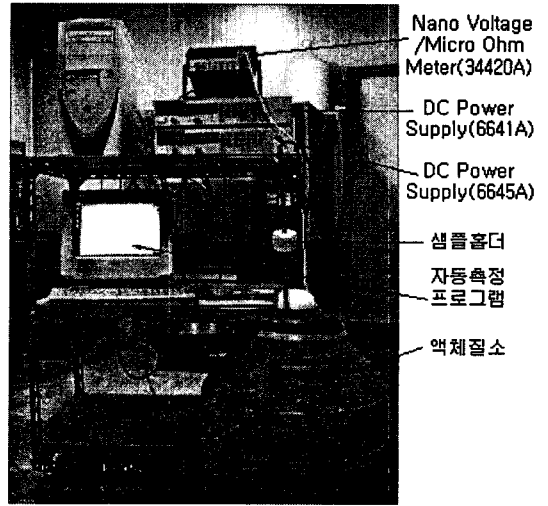


그림 2. 구축된 자동 측정장치.

표 1. 실험장치 및 재료.

장비명	사용용도
DC Power Supply(6641A, 6645A)	전원 공급
Nano Voltage/Micro Ohm Meter(HP 34420A)	전압, 저항 및 온도 측정
Gauss meter(F.W.BELL 5080)	자계 측정
LCR meter(4263A)	인덕턴스 측정
채널의 식각 두께가 0.2 ~ 0.6 um 로 제작된 초전도 트랜지스터(SFFT) 샘플	
액체 질소가 담긴 저장 탱크	
샘플(시편)을 액체 질소에 담글때 사용하는 Sample Holder	
기타 각종 배선용 전선, 클립	
측정 프로그램이 설치될 PC본체, 모니터	
GPIB 인터페이스 보드와 데이터 연결 케이블	

다음은 전류를 일정량 공급하면서 전압을 측정하는 실험으로 시편에 1초 간격(또는 0.5초)으로 1 mA씩 증가되는 전류를 DC Power Supply로 공급하면서 나노볼트미터를 통해 시편의 양단 전압을 측정한다. 여기에 사용되는 장비는 DC Power Supply이며 입력전압은 5V로 고정, 전류는 1 mA씩 1초 간격으로 증가시켜 공급한다. 사용모델은 전원

공급기 6641A(0~8V,0~20A)와 나노미터(34420A)는 채널 1에서 전압 또는 저항을 측정하고, 측정범위는 0V ~ 500mV이다.

자계를 측정시는 일정시간 간격(1초 또는 2초)으로 증가되는 전류(0A ~ 100mA)를 DC Power Supply로 공급하면서 가우스미터로 자계크기를 측정한다. 여기서 사용되는 장비는 DC Power Supply 6641A(0~8V, 0~20A)와 가우스미터(F.W. BELL 5080) 이다.

인덕턴스 값을 측정하기 위해서는 시편에 일정한 전압전류(5V, 1mA)를 공급한 상태에서 시편의 인덕턴스와 시편주위온도를 가우스미터와 나노미터를 이용하여 측정할 수 있다. 이때 사용되는 장비로는 DC Power Supply로 전압 5 V, 전류 1 mA 공급시키면서 나노미터로 채널 1에서는 온도를 측정(측정범위 : -196 °~ 25 °) 하고 LCR 미터(모델명 4263A)로 인덕턴스를 측정한다.

또한 전원공급장치를 사용하지 않고 표 2처럼 2개 또는 3개 값을 동시에 측정할 수 있다.

표 2. 측정장비 및 이용 장비명.

측정명	이용 장비명
자계측정	가우스미터이용-F.W. BELL 5080
전압측정	나노미터이용, 34420A
저항측정	나노미터이용, 34420A
온도측정	나노미터이용, 34420A
인덕턴스측정	LCR미터이용, 4263A

2.2 GPIB 인터페이스 구축

먼저 측정 장치를 사용하기 위한 테스트단계에 있어서 Agilent사(HP)의 측정 장비들에 대한 설정을 수행해야 한다. 설정값으로는 측정 단위 모드 변경과 초기화 등이 포함된다. 다음으로 임계 특성에 대한 수동측정을 통해서 먼저 결과값을 분석후 자동 측정시 고려되어야 할 사항을 프로그래밍 변수로 설정하는 작업이 필요하다. 예로써 측정시간 간격이나, 전류/전압 증가량, 온도변화, 저항변화, 자계변화, 인덕턴스변화, 또는 전압변화에 대해 공급 전원에 대한 인가값의 범위나 측정값에 대한 범위를 고려해야 한다.

프로그래밍 변수의 종류와 범위 등이 정해졌으면 GPIB 프로그래밍을 통해 자동 측정 프로그램을 제작하는 단계로 넘어간다. 프로그램을 제작하는 과정은 본 연구에서는 생략하도록 하며 장비 구입시 제공되는 매뉴얼을 참고로 하되 기본적인 C/C++ 또는 Visual Basic 프로그래밍 실력만 갖추면 샘플 코드를 참고해서 쉽게 제작할 수 있다. 다만 프로그램을 최적화 하는 일이 정확한 측정을 좌우한다. 프로그램 제작이 완성되면 아래 순서로 장비를 테스트하면서 원하는 데이터를 구하면 된다.

- ① 제작된 프로그래밍을 통한 측정 장비 테스트.
- ② 실제 자동 측정 및 결과 데이터 얻기.
- ③ 실험 결과를 데이터베이스화.

장치 구축시 고려할 사항으로는 먼저 프로그래밍 측면에서 불뻐 프로그래밍시 실수로 지나치게 높은 전류값을 DC Power Supply를 통해 공급하게 될 경우 사고 발생을 예상해서 제한전류를 사용해야 하고 예외 처리가 반영되도록 하였다. 또한 측정 장치 선택시 PC와 인터페이스 고려해서 구입해야 하며 GPIB 인터페이스가 없는 구 장비인 경우 Serial 포트를 통한 프로그래밍 제어가 가능한지 확인해야 하는데 보통 Serial 통신을 통한 장비의 제어방법은 GPIB 인터페이스를 통한 통신 방법에 비해 프로그램 하기가 상대적으로 까다로우므로 신중히 선택을 해야 한다.

계측시 장비의 반응 시간을 고려해서 프로그래밍하는것도 중요한데 만일 전원을 공급후 측정부로부터 원하는 결과값이 늦게 얻어진다면 그 데이터는 쓸모없는 값이 될 것이다.

따라서 프로그램시 불필요한 루프의 사용을 하지 않는 등의 방법으로 프로그램을 최적화 하는 것도 측정 장치의 구축에서 중요한 변수가 될 것이다.

3. 결과 및 고찰

채널의 식각 두께가 각각 다른 초전도 트랜지스터 샘플을 가지고 측정한 결과 채널의 두께에 비례하여 임계 전류값을 얻을 수 있었다. 다만 식각 방법(건식, 습식)에 따라 다르게 제작된 샘플을 가지고 측정된 데이터값들은 서로 상이한 결과를 보였다. 여기서 발생한 오차는 식각 표면의 균일한

상태와 같은 물리적 요인과 측정장치 내에서 발생할 수 있는 기생저항 등의 영향으로 볼 수 있다. 자동 측정 장치의 구축시 가장 중요시 여기는 사항으로는 사고 전류를 차단할 수 있도록 프로그램으로 제어를 하는 것과 전원을 인가할 때나 장비로부터 측정 결과를 얻는 반응시간(response time)을 단축시키는 것이 변수라 하겠다. 그림 3은 채널의 두께를 더 얇게 했을 때 임계전류가 더 낮아지는 것을 알 수 있다. 채널부분 식각을 통해 저전력 소비의 트랜지스터를 제작할 수 있다. 그림 4는 채널의 두께를 0.4 μm 에서의 임계온도를 측정된 실험 결과값이다.

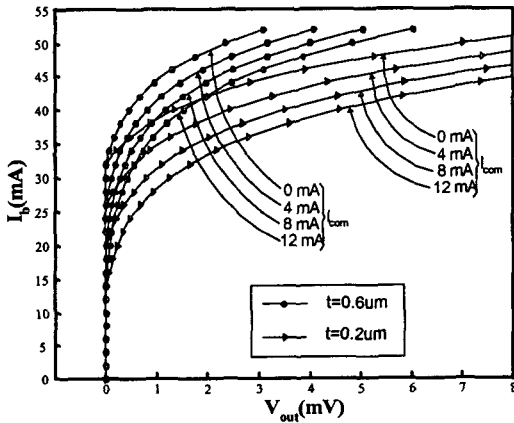


그림 3. 채널 두께에 따른 I-V 특성곡선 시뮬레이션.

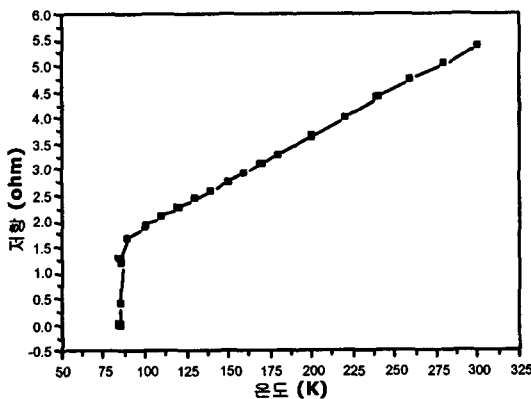


그림 4. 두께 0.4um에서 온도와 저항과의 측정값.

4. 결론

본 연구에서는 고가의 측정 장비와 제공되는 프

로그래를 사용하지 않고 직접 측정 장비를 제어할 수 있도록 GPIB 인터페이스 프로그래밍을 통해 자동 측정장치를 구축하였다. 그리고 구축된 장치를 통해 실제 초전도 트랜지스터의 채널 식각 두께에 따른 임계 특성 변화를 측정해 보았다. 임계온도는 82K정도이고, 채널 두께가 감소됨에 따라 출력전압이 낮은 임계전류에서 형성되는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 임성훈 · 한태희 · 박경국 · 임성우 · 조동언 · 한병성, “용융온도와 유지시간이 용융법으로 제작한 고온 초전도체의 임계 특성에 미치는 영향”, 전기전자재료학회논문지, Vol.11, No.2, 154, 1998년.
- [2] 임성훈 · 최명호 · 강형곤 · 정동철 · 박종광 · 한병성, “용융성장 시 서냉시간과 후열처리시간에 따른 임계 특성”, 전기전자재료학회논문지, Vol. 11, No. 4, 327, 1998년.
- [3]Yong-Ho Lee, Hyukchan Kwon, Jin-Mok Kim, and Yong-Ki Park, “Measurements of Auditory Evoked Neuromagnetic Fields using Superconducting Quantum Interference Devices”, J. of KOSOMBE 18, 421 (1997)
- [4]Yong Ho Lee, and Yong Ki Park, “Biomagnetic measurement using SQUID”, J. Kor. Inst. Electronics Eng. 25, 881 (1998)