

# 鈦參雜鈷之系統將彰顯其超導性

學生：王碩雍

指導教授：林志忠 教授

國立交通大學物理研究所碩士班

## 摘要

我們製作了一系列純鈦金屬分別參雜不同濃度的鈷元素樣品，其濃度分布介於數個ppm到數仟個ppm之間，首先由樣品的X-ray繞射圖譜了解到熱處理對其結構具有正面的影響，並藉由測量其比熱隨溫度的變化關係發現樣品在超導相變溫度( $T_C$ )的比熱沒有產生峰值；此外利用超導量子干涉儀(SQUID)測量樣品的磁化率隨溫度的變化關係，由於超導體的排磁性可以觀察到在高於相變溫度的磁化率呈現定值並沒有逐漸上升的現象，直到溫度低於 $T_C$ 時樣品磁化率便迅速下降到一個固定的負值。最後隨著參雜鈷濃度的增加，我們發現樣品的超導溫度亦隨之上升。

# Enhanced Superconductivity in Cobalt-doped Titanium

student : Suo-Yung Wang

Advisor : Prof. Juhn-Jong Lin

Institute of Physics  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

A series of the specimens of pure Ti doped different concentration of Co have been made, and the concentration of Cobalt of specimens were distributed between several ppm and thousands of ppm. First, the inner structure of the samples has been positively affected by the heat treatment (annealing) from the X-ray diffraction spectrums. By measuring the various relation of specific heat-temperature curves, there were found that the pick of the curves of the specimens did not happened near the superconducting transition temperature ( $T_c$ ). Moreover, the relation of susceptibility- temperature curves of the samples can be measured by superconducting quantum interference device (SQUID). When the temperature was higher than  $T_c$ , the susceptibility was invariable. Because of the diamagnetism (i.e., the Meissner effect), as the temperature was close to the transition temperature, the susceptibility could become a negative invariant. Finally, with the increasing of the concentration of Cobalt, the higher transition temperature ( $T_c$ ) could be found.

## 誌 謝

非常感謝指導教授林志忠老師的熱心指導，讓我得以一窺學術之美以及嚴謹的治學態度。同時感謝中研院物理所的陳洋元老師提供實驗上的支援，以及研究助理歐敏男、蔡傳博學長在實驗上的協助與討論。還有謝謝實驗室的博士班學長林永翰、葉勝玄、黃旭明、邱劭斌學長的費心帶領與無私提攜，即使過程中的些許爭論這都是人生珍貴的回憶。而戰友王陸生讓規律的實驗室的生活更豐富，也謝謝陳邵其、韓顏吉學弟的幫忙。最後沒有家人在被背後的支持這一切都是不可能的，要感謝的人太多就只有謝天吧！



## 目 錄

中文提要	.....	i
英文提要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
表目錄	.....	v
圖目錄	.....	vi
第一章	前言 .....	1
第二章	相關理論 .....	8
第三章	實驗方法 .....	32
第四章	實驗結果與討論 .....	56
第五章	結論 .....	76
參考文獻	.....	78
簡歷	.....	80



## 表目錄

表 2-1	不同超導金屬與實驗值 $2\Delta(0)/kT_C$ 的對照表.....	22
表 3-1	ITC-503 溫控器控制面板與 $^3\text{He}$ 低溫恆溫器之對照表.....	40
表 4-1	一系列樣品的參數.....	58
表 4-2	純鈦與參雜微量元素樣品的電子比熱與晶格比熱係數.....	67



## 圖目錄

圖 2-1	電子—聲子交互作用示意圖.....	10
圖 2-2	電子所佔有能態的機率即為 Fermi-Dirac 分布.....	12
圖 2-3	兩電子伴隨動量為 $P_1, P_2$ 作用於費米面上之示意圖.....	12
圖 2-4	兩電子伴隨動量 $p_i, p_j$ 在動量空間之分佈.....	14
圖 2-5	由 BCS 理論計算得到電子在動量空間之機率分佈 $h_i$ (其為 $p_i$ 的函數) .....	18
圖 2-6	在幾何空間中電子的位置與機率分佈關係.....	19
圖 2-7	能量間隙與溫度關係圖.....	22
圖 2-8	超導體中存在電流狀態下的 Cooper pair 動量分布.....	25
圖 3-1	分別參雜鉻、錳、鐵、鈷、鎳等金屬元素的鈦合金相圖.....	35
圖 3-2	$^3\text{He}$ 低溫恆溫器樣品座之俯視與側視圖.....	36
圖 3-3	$^3\text{H}$ 低溫恆溫器之量測系統示意圖.....	37
圖 3-4	$^3\text{He}$ pot 內之 $^3\text{He}$ 凝結與揮發示意圖.....	42
圖 3-5	$^3\text{He}$ 低溫恆溫器剖面圖.....	43
圖 3-6	電弧爐構造示意圖.....	47
圖 3-7	高溫爐溫控程式之溫度與時間變化示意圖.....	50
圖 3-8	高溫爐示意圖.....	51
圖 3-9	點焊機控制面板示意圖.....	52
圖 3-10	四點與兩點量測法示意圖.....	52
圖 3-11	Bragg 晶格繞射示意圖.....	53
圖 3-12	比熱量測樣品座示意圖.....	54
圖 3-13	樣品與環境之熱傳導示意圖.....	54
圖 3-14	磁化率量測裝置示意圖.....	56
圖 4-1-1	樣品經過熱處理之後的電阻與溫度關係.....	57
圖 4-1-2	室溫電阻率與含鈷濃度關係圖.....	59
圖 4-1-3	低溫電阻率與含鈷濃度關係圖.....	59
圖 4-1-4	室溫與低溫殘餘電阻率之比與含鈷濃度關係圖.....	60
圖 4-2-1	Ti-Co 樣品退火前之 X-ray 圖譜.....	61
圖 4-2-2	Ti-Co 樣品退火後之 X-ray 圖譜.....	61
圖 4-2-3	Ti-Co 樣品經退火處理後的 X-ray 圖譜.....	62
圖 4-2-4	一系列 Ti-Co 樣品尚未消除背景訊號之 X-ray 圖譜.....	62
圖 4-3	鈦金屬參雜微量鈷元素的比熱與溫度關係.....	64
圖 4-4-1	鈦金屬參雜微量鈷元素的比熱/溫度與溫度平方關係.....	66
圖 4-4-2	鈦金屬參雜微量鈷元素的比熱/溫度與溫度平方關係.....	67
圖 4-4-3	純鈦金屬的比熱/溫度與溫度平方關係.....	68

圖 4-4-4	純鈦與分別參雜錳、鈷之樣品的比熱/溫度與溫度平方關係.....	68
圖 4-5-1	鈦金屬參雜微量鈷元素的磁化率與溫度關係.....	69
圖 4-5-2	純鈦與參雜微量鈷元素的磁化率與溫度關係.....	69
圖 4-5-3	純鈦金屬與分別參雜微量的鉻、錳、鐵、鈷元素之磁化率與溫度關係	70
圖 4-6	Ti-Co 濃度與超導相變溫度關係.....	71
圖 4-7	樣品濃度與超導溫度關係.....	72
圖 4-8	Ti-Co 樣品中超導溫度與微量濃度關係.....	72
圖 4-9	Ti-Co 樣品中超導溫度與微量濃度之對數關係.....	73
圖 4-10	鈦參雜數個至數十 ppm 鈷的電阻率對溫度關係.....	73
圖 4-11	鈦參雜數佰至數仟個 ppm 的鈷的電阻率對溫度關係.....	74
圖 4-12	鈦參雜數個至數十 ppm 的鈷的電阻率對溫度關係.....	75

