

# 明新科技大學 校內專題研究計畫成果報告

鋼鐵金屬類材料經高溫熱處理後之結構與特性研究

Structure and properties study of some metallic materials after high temperature annealing

計畫類別： 整合型計畫 個人計畫

計畫編號：MUST-97-自然-05

執行期間：97年3月1日至97年9月30日

計畫主持人：蔣大鵬

共同主持人：王定、丁逸

計畫參與人員：袁輔德

處理方式：除涉及專利或其他智慧財產權外得立即公開，  
唯必要時本校得展延發表時限。

可立即對外提供參考

(請打√) 一年後可對外提供參考

兩年後可對外提供參考

執行單位：人社科院自然科學組

中華民國 97 年 10 月 29 日

## 中文摘要

本研究計畫觀察 RS304 與 SS316L 不鏽鋼材料，在含有雜值元素之後，金屬材料的磁性、及電阻變化。在分析上，藉由振動樣品磁化儀(VSM)測量材料在室溫的磁性；發現 SS316L 中，含 0.00~0.27wt%的 Ag 元素時，其磁化量約在  $3.1 \pm 1.5$  emu/g。Fe-base 系統中含約 0.3 wt%的 Mn 元素，而全部雜質含量約 0.5 wt%以內時，在 1KOe 的外加磁場時，即能接近飽和磁化，其值約 200~220 emu/g。由電阻測量得知 DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 的居里溫度為 1041、1036、1037、1032、1034K，在居里溫度時將有  $\alpha-v$  的結構轉變發生。

關鍵詞：

振動樣品磁化儀，飽和磁化量，居里溫度，結構轉變。

## ABSTRACT

This research project observes RS304 and the SS316L stainless steel material, after including the mixed impurities element, metallic material magnetism, and resistance change. In analysis, using the vibrating-sample magnetometer (VSM) measure materials magnetic properties at room temperature. Discovers in SS316L, when including 0.00 ~ 0.27 wt % Ag element, its magnetization quantity approximately in  $3.1 \pm 1.5$  emu/g. In Fe-base system including the approximately 0.3 wt % Mn element, but complete impurities inclusion approximately 0.5 wt%, when applied field 1KOe, its can approach the saturation magnetization, its value approximately 200~220 emu/g. By the measure of resistance knew that DQ, CQ<sub>1</sub>, CQ<sub>2</sub>, a DDQ Curie temperature is 1041, 1036, 1037, 1032, 1034K, when the Curie temperature will have  $\alpha - \nu$  structural transformation occurrence.

Keywords :

Vibrating-sample magnetometer (VSM), Saturation magnetization, Curie temperature, Structure transformation.

中文摘要	I
ABSTRACT	II
目錄	IV
圖目錄	V
表目錄	V

## 目錄

一、前言 .....	1
二、研究目的 .....	2
三、研究方法 .....	3
四、結果與討論 .....	5
五、結論 .....	8
誌謝 .....	8
參考文獻 .....	8

## 圖目錄

圖一：Vibrating-sample magnetometer (VSM)的照片圖	3
圖二：樣品四點探測示意圖	3
圖三：外加磁場為 10kOe，SS316L 中，含 0.00~0.27wt% 的 Ag 元素系列，磁化量與外加磁場間的關係圖	4
圖四：外加磁場為 6kOe，Fe、RS304、DQ、CQ <sub>1</sub> 、CQ <sub>2</sub> 、DDQ 的磁化量與外加磁場間的關係圖	5
圖五：外加磁場為 20kOe，SS316L 含 0.03wt%與 0.09wt% 的 Ag 元素，磁化量與外加磁場的關係圖	6
圖六：溫度 T 由 4K 升至 1300K 時， 純 Fe、DQ、CQ <sub>1</sub> 、CQ <sub>2</sub> 、DDQ 的電阻 $\rho$ 變化	7
圖七：溫度 T 由 4K 升至 1300K 時，純 Fe、DQ、CQ <sub>1</sub> 、CQ <sub>2</sub> 、 DDQ 的電阻率 ( $d\rho/dT$ ) 與溫度 T 的關係圖	7

## 表目錄

表一：RS304 與 SS316L 的組成	1
表二：DQ、CQ <sub>1</sub> 、CQ <sub>2</sub> 、DDQ 的組成	2
表三：SS316L 含 Ag 元素的磁化量	6
表四：Fe、RS304、DQ、CQ <sub>1</sub> 、CQ <sub>2</sub> 、DDQ 的飽和磁化量	6

## 一、前言

金屬材料 RS304 與 SS316L 不鏽鋼對產業界、人民生活而言、是應用範圍非常廣泛的材料。但由於金屬材料易受溫度影響，如熱脹冷縮、高溫時特性鈍化等，導致在使用上，受到許多限制。金屬材料經高溫熱處理後，對材料的磁性、相變及結構等均會有所影響[1,2]。而由於雜質滲入多寡，或原子鍵結的被破壞、改變，材料本質亦會產生變化，因而影響材料的特性。

Fe-base 材料，若其結構為 fcc 的沃斯田鐵(austenitic)，則呈現無磁性；若為 bct 的麻田散鐵(Martensite)，則會帶有磁性。但由於冶煉時成份的偏析或熱處理不當，會在沃斯田鐵中產生少量麻田散鐵而呈弱磁性。商業用的不鏽鋼系(Stainless steel system)中，低碳且具高延展性的 RS304 或 SS316L，為完全不帶磁性或帶弱磁性的材料，表一列出 RS304 與 SS316L 的組成份。

表一：RS304 與 SS316L 的組成

	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Fe
RS304		2.68	0.034	0.020	5.807	19.43	25.81		Remainder
SS316L	0.03	2.00		0.03	1.00	10.0~14.0	16.0~18.0	3.0~4.0	Remainder

## 二、研究目的

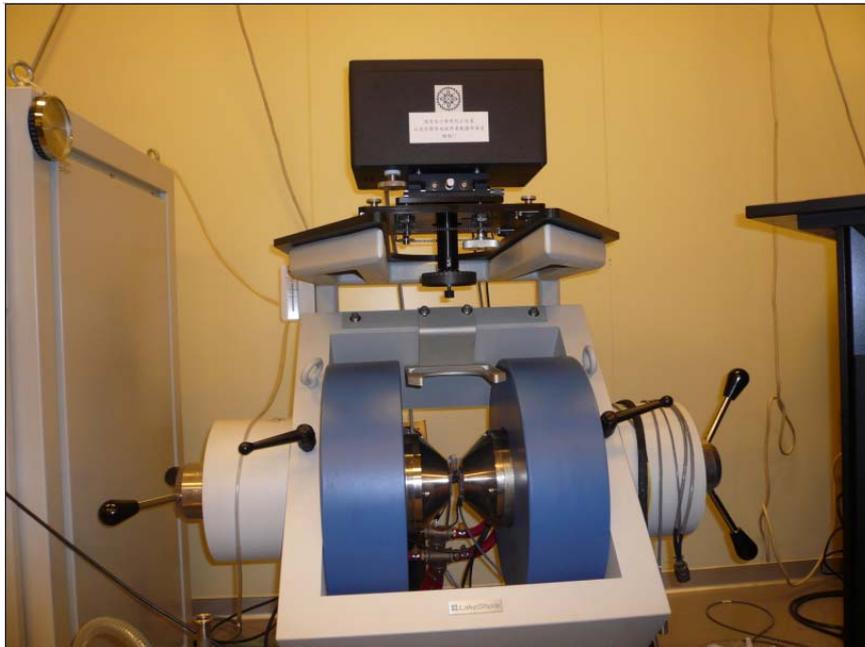
在這篇研究，材料為海洋大學機械所，所提供 SS316L 不銹鋼中，添加含量為 0.00~0.27 wt% 的 Ag 作為實驗樣品。銀是一種過渡金屬，化學活性小，價格貴，主要用作錢幣及首飾。為熱、電的良導體，不易受化學藥品腐蝕，在電子工業上是重要的導電材料，可以用作電線等導電體。在生物中銀並不會對人的身體產生毒性，銀離子和含銀化合物可以殺死或者抑制細菌、病毒、和真菌，有對抗疾病的效果。本研究主要是針對材料的磁性作分析，並與內含約 0.3 wt% 的 Mn 元素，而全部雜質含量約 0.5 wt% 的 Fe-base 系統樣品 [3,4]，DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 作比較，表二列出其成份。

表二：DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 的組成

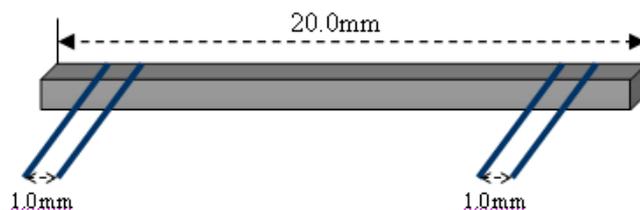
Sample	DQ	CQ <sub>1</sub>	CQ <sub>2</sub>	DDQ
C	0.05	0.08	0.06	0.05
Mn	0.250	0.260	0.350	0.260
P	0.010	0.006	0.008	0.008
S	0.009	0.012	0.010	0.009
Si	0.010	0.010		0.010
Ni	0.014	0.016	0.016	0.017
Cr	0.012	0.015	0.030	0.019
Cu	0.010	0.019	0.006	0.010
V	0.003	0.009	0.002	0.004
Ti	0.003		0.003	
Al	0.049	0.042	0.042	0.048
Fe	Remainder	Remainder	Remainder	Remainder

### 三、研究方法

所有取得之材料，皆已經過熱處理。對於研究用的樣品，先將其切割為長方體，再製作成適合量測的尺寸，測量磁性的取樣大小為  $6.0\text{ mm} \times 1.0\text{ mm} \times 1.0\text{ mm}$ ，測量電阻的為  $20\text{ mm} \times 1.0\text{ mm} \times 1.0\text{ mm}$  大小。利用振動樣品磁化儀(VSM)測量材料的磁性，圖一為 VSM 裝置的照片。在量測上，沿樣品的長軸方向，施加不同大小的磁場，觀察室溫時，外加磁場大小與磁化量間的關係。電阻測量以四點探測技術，施加固定大小的直流電流，測量電位差，利用歐姆定律即可獲得樣品的電阻大小，圖二為樣品四點探測示意圖。點焊線為直徑  $1.27\text{ mm}$  的 Mo 線，測量溫度由  $4\text{ K}$  到  $1300\text{ K}$  的電阻變化。



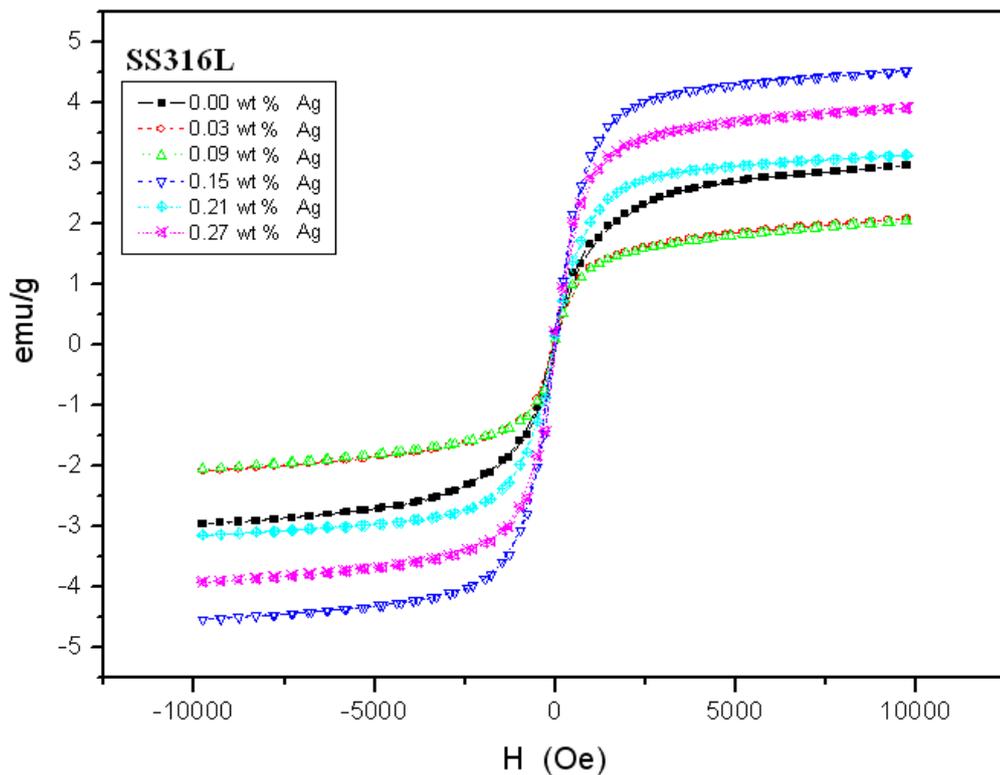
圖一：Vibrating-sample magnetometer (VSM)的照片。  
(中研院物理所 提供)



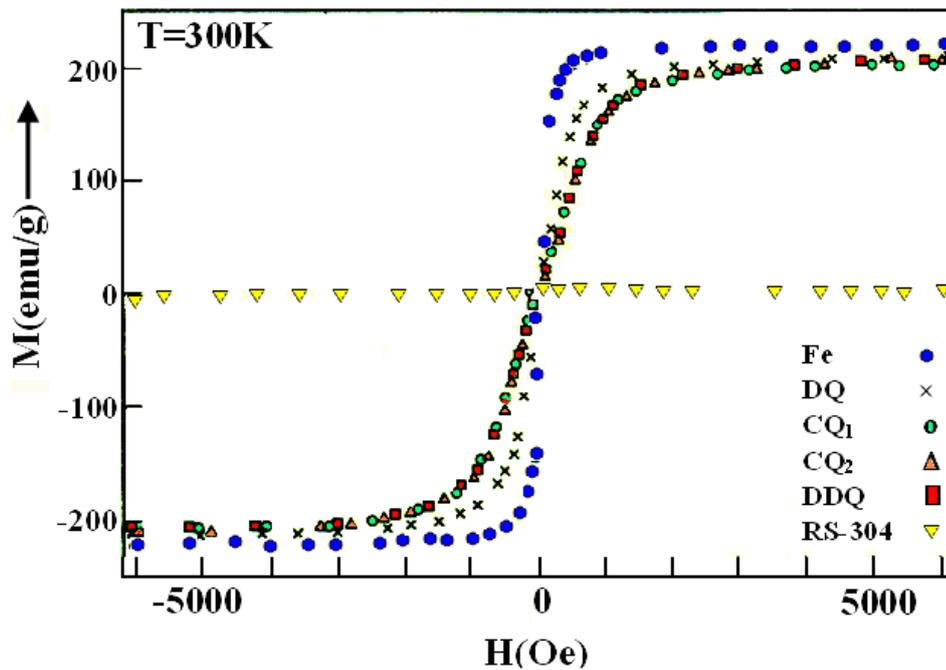
圖二：樣品四點探測示意圖。

#### 四、結果與討論

圖三為 SS316L 中，含 0.00~0.27wt% 的 Ag 元素系列，在室溫時，外加磁場為 10KOe 時，由 VSM 所測得的磁化量，與外加磁場間的關係圖。圖四為 Fe、RS304、DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 在外加磁場為 6KOe 時，磁化量與外加磁場間的關係圖。比較二圖可知，純 Fe 只要極小的磁場，便可達到飽和磁化，DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 在 1KOe 的外加磁場時，亦能接近飽和磁化狀態。



圖三：外加磁場為 10KOe，SS316L 中，含 0.00~0.27wt% 的 Ag 元素系列，磁化量與外加磁場間的關係圖。



圖四：外加磁場為 6KOe，Fe、RS304、DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 的磁化量與外加磁場間的關係圖。

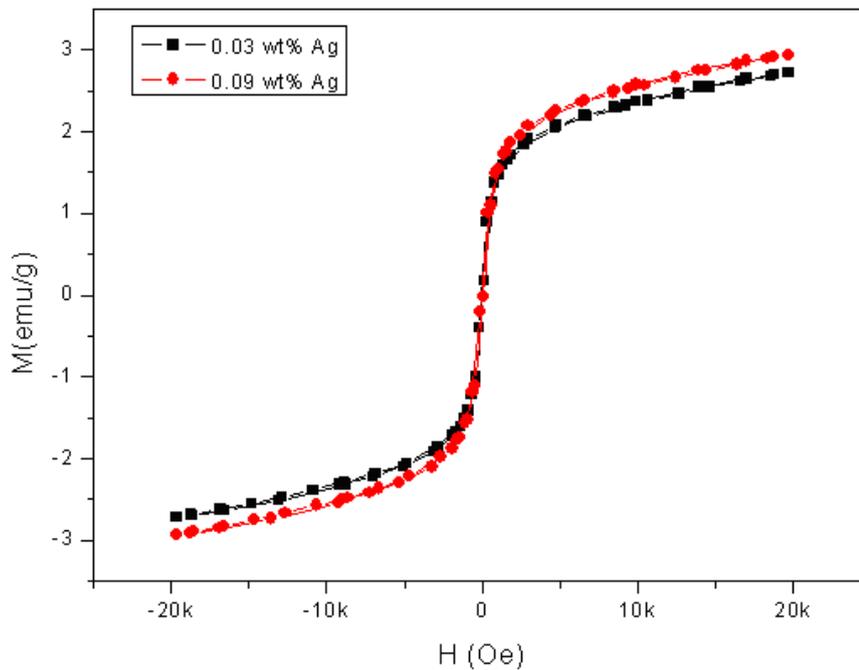
RS304、SS316L、與含 Ag 元素系列的不銹鋼，其飽和磁化量的值則遠小於 Fe、DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ。表三為 SS316L 含 Ag 元素的在 10KOe 與 20KOe 的外加磁場之磁化量，表四為 Fe、RS304、DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 的飽和磁化量。由於 Fe-base 材料的沃斯田鐵(austenitic)結構呈現無磁性，而麻田散鐵(Martensite) 結構，則會帶有磁性。RS304 不銹鋼在 6KOe、SS316L 在 10KOe 的外加磁場下，磁化量值皆為 3.0 emu/g，遠小於純 Fe 的 218.1 emu/g，故知 RS304、SS316L 應為 FCC 的沃斯田鐵結構；而添加不含磁性的 Ag，其磁化量值約為(3.1±1.5) emu/g，並未有明顯變化；圖五為外加磁場增加至 20KOe 時，Ag 含量為 0.03wt%與 0.09wt%的磁化量變化。純鐵中，添加 0.3 wt%以內的 Mn 元素，則飽和磁化量將會隨著 Mn 元素含量的增加，而減小，而且欲使材料達到飽和磁化的外加磁場也隨著增加。此或許是由於，雜值的加入，產生阻礙磁矩旋轉，使材料較不易達到飽和。

表三：SS316L 含 Ag 元素的磁化量

wt % Ag	M at 10KOe (emu/g)	M at 20KOe (emu/g)
0.00	2.96	
0.03	2.08	2.94
0.09	2.04	2.71
0.15	4.53	
0.21	3.14	
0.27	3.92	

表四：Fe、RS304、DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 的飽和磁化量

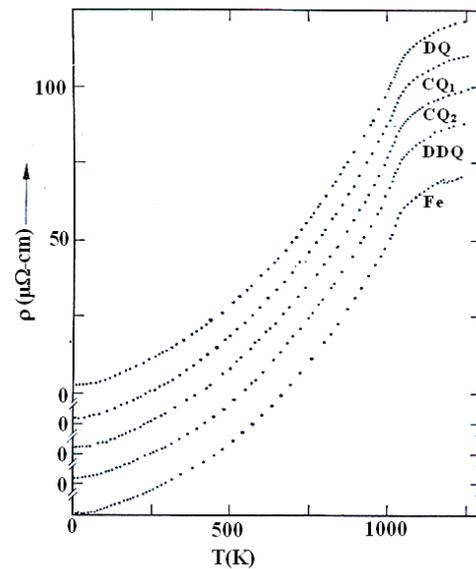
Sample	M <sub>s</sub> at 6 KOe(emu/g)
Fe	218.1
DQ	213.7
CQ <sub>1</sub>	204.7
CQ <sub>2</sub>	207.0
DDQ	206.7
RS304	3.0



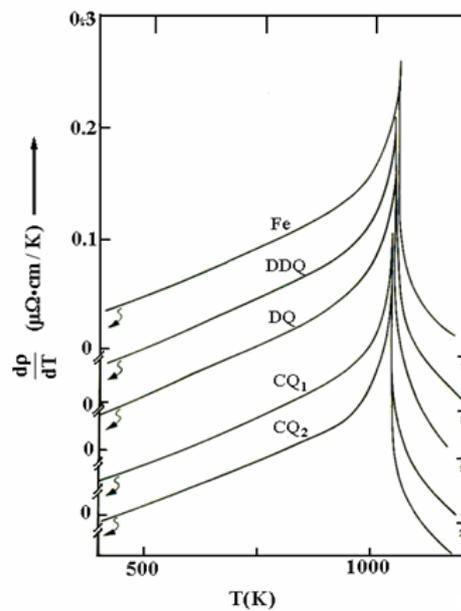
圖五：外加磁場為 20KOe，SS316L 含 0.03wt%與 0.09wt% 的 Ag 元素，磁化量與外加磁場的關係圖。

圖六指出溫度  $T$  由 4K 升至 1300K 時，純 Fe、DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 的電阻  $\rho$  變化，可看出在溫度增加時，電阻也增加。在過去的文獻資料[5]，指出純 Fe 的居里溫度(Curie Temperature)為 1180 K，它出現在  $d\rho/dT$  對  $T$  有最大值時，而純 Fe 在這溫度發生  $\alpha-\gamma$  的結構轉變。由圖七電阻率 ( $d\rho/dT$ ) 與溫度  $T$  的關係圖，可以看出 DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 的曲線與純 Fe 的曲線變化相似。從分析數據可得 DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 的居里溫度為 1041、

1036、1037、1032、1034K。對於內含約 0.3 wt%的 Mn 元素，而全部雜質含量約 0.5 wt%的 Fe-base 系統，當溫度升高時，內部原子將因熱效應，而使原子間的交互作用加劇，導致材料電阻的增加。原來具有鐵磁性結構的排列，亦將被改變，在居里溫度時會轉變為順磁性結構，亦即發生 $\alpha-v$ 的結構轉變。



圖六：溫度 T 由 4K 升至 1300K 時，純 Fe、DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 的電阻  $\rho$  變化。



圖七：溫度 T 由 4K 升至 1300K 時，純 Fe、DQ、CQ<sub>1</sub>、CQ<sub>2</sub>、DDQ 的電阻率 ( $dp/dT$ ) 與溫度 T 的關係圖。

## 五、結論

RS304 或 SS316L，為完全不帶磁性或帶弱磁性的材料，SS316L 不銹鋼中，添加 Ag 時，亦呈不帶磁性或帶弱磁性狀態。但在磁性 Fe-base 系統中，添加 0.3 wt% 的 Mn 元素，並控制全部雜質含量在 0.5 wt% 內，材料磁性會受雜質影響而減弱；此系列居里溫度約為 1040K，在居里溫度時，鐵磁性結構會轉變為順磁性結構。

## 誌謝

感謝明新科技大學在研究過程中之經費補助，及中央研究院物理研究所姚永德教授的指導、明新科技大學自然科學組丁逸教師、及中央研究院袁輔德先生的協助，始得以完成，在此致謝。

## 參考文獻

1. T. Nautiyal and S. Auluck, Phys. Rev. B 32, 6424 (1985).
2. P. Muth and V. Christoph, Phys. Stat. sol. (b) 131, 769 (1985)
3. J. Jayaraj<sub>1</sub>, Y.C. Kim, K.B. Kim, H.K. Seok, E. Fleury, Science and Technology of Advanced Materials 6 (2005) 282–289
4. 吳坤陽、王正全、陳東煌, Nanotechnology 2007, 18, 305604
5. S. Arajs and R. V. Colin, phys. stat. sol. 6, 797(1964)

# 明新科技大學 97年度 研究計畫執行成果自評表

計畫類別： <input type="checkbox"/> 任務導向計畫 <input type="checkbox"/> 整合型計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 個人計畫 所屬院(部)： <input type="checkbox"/> 工學院 <input type="checkbox"/> 管理學院 <input type="checkbox"/> 服務學院 <input checked="" type="checkbox"/> 人社科院 執行系別： <span style="margin-left: 150px;">人社科院自然科學組</span> 計畫主持人：蔣大鵬 職稱：助理教授 計畫名稱：鋼鐵金屬類材料經高溫熱處理後之結構與特性研究 計畫編號：MUST-97-自然-05 計畫執行時間：97年3月1日至97年9月30日							
計畫執行成效	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;">教學方面</td> <td style="padding: 5px;">           1.對於改進教學成果方面之具體成效：  <u>金屬材料RS304與SS316L不鏽鋼對產業界、人民生活而言、是應用範圍非常廣泛的材料。</u>            2.對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效：  <u>但由於金屬材料易受溫度影響，如熱脹冷縮、高溫時特性鈍化等，導致在使用上，受到許多限制。有關此方向的研究，尚可繼續努力。</u>            3.其他方面之具體成效：  <u>銀並不會對人的身體產生毒性，銀離子和含銀化合物可以殺死或者抑制細菌、病毒、和真菌，有對抗疾病的效果。</u> </td> </tr> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;">學術研究方面</td> <td style="padding: 5px;">           1.該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input type="checkbox"/>是 <input type="checkbox"/>否            計畫名稱：_____            2.該計畫是否有產生論文並發表<input type="checkbox"/>已發表 <input type="checkbox"/>預定投稿/審查中 <input checked="" type="checkbox"/>否            發表期刊(研討會)名稱：            發表期刊(研討會)日期：            3.該計畫是否有衍生學合作案、專利、技術移轉等，請說明：            _____         </td> </tr> </table>	教學方面	1.對於改進教學成果方面之具體成效： <u>金屬材料RS304與SS316L不鏽鋼對產業界、人民生活而言、是應用範圍非常廣泛的材料。</u> 2.對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效： <u>但由於金屬材料易受溫度影響，如熱脹冷縮、高溫時特性鈍化等，導致在使用上，受到許多限制。有關此方向的研究，尚可繼續努力。</u> 3.其他方面之具體成效： <u>銀並不會對人的身體產生毒性，銀離子和含銀化合物可以殺死或者抑制細菌、病毒、和真菌，有對抗疾病的效果。</u>	學術研究方面	1.該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 計畫名稱：_____ 2.該計畫是否有產生論文並發表 <input type="checkbox"/> 已發表 <input type="checkbox"/> 預定投稿/審查中 <input checked="" type="checkbox"/> 否 發表期刊(研討會)名稱： 發表期刊(研討會)日期： 3.該計畫是否有衍生學合作案、專利、技術移轉等，請說明： _____		
教學方面	1.對於改進教學成果方面之具體成效： <u>金屬材料RS304與SS316L不鏽鋼對產業界、人民生活而言、是應用範圍非常廣泛的材料。</u> 2.對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效： <u>但由於金屬材料易受溫度影響，如熱脹冷縮、高溫時特性鈍化等，導致在使用上，受到許多限制。有關此方向的研究，尚可繼續努力。</u> 3.其他方面之具體成效： <u>銀並不會對人的身體產生毒性，銀離子和含銀化合物可以殺死或者抑制細菌、病毒、和真菌，有對抗疾病的效果。</u>						
學術研究方面	1.該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 計畫名稱：_____ 2.該計畫是否有產生論文並發表 <input type="checkbox"/> 已發表 <input type="checkbox"/> 預定投稿/審查中 <input checked="" type="checkbox"/> 否 發表期刊(研討會)名稱： 發表期刊(研討會)日期： 3.該計畫是否有衍生學合作案、專利、技術移轉等，請說明： _____						
成果自評	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;">計畫預期目標：</td> <td style="padding: 5px;">           本計畫執行中預計完成：            1. 金屬材料樣品製造；            2. 金屬材料加熱鈍化。            3. 在室溫下，以VSM測量不同樣品的磁化強度；         </td> </tr> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;">計畫執行結果：</td> <td style="padding: 5px;">           RS304或SS316L，為完全不帶磁性或帶弱磁性的材料，SS316L不鏽鋼中，添加Ag時，亦呈不帶磁性或帶弱磁性狀態。但在磁性Fe-base系統中材料磁性會受雜質影響而減弱；在居里溫度時，鐵磁性結構會轉變為順磁性結構。   <div style="text-align: right;">             預期目標達成率：65%              (若不敷使用請另加附頁繕寫)           </div> </td> </tr> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;">其它具體成效：</td> <td style="padding: 5px;">           溫度增加時，電阻<math>\rho</math>也增加，在電阻率(<math>d\rho/dT</math>)與對T有最大值時，可得居里溫度，在居里溫度材料會發生結構轉變。   <div style="text-align: right;">             (若不敷使用請另加附頁繕寫)           </div> </td> </tr> </table>	計畫預期目標：	本計畫執行中預計完成： 1. 金屬材料樣品製造； 2. 金屬材料加熱鈍化。 3. 在室溫下，以VSM測量不同樣品的磁化強度；	計畫執行結果：	RS304或SS316L，為完全不帶磁性或帶弱磁性的材料，SS316L不鏽鋼中，添加Ag時，亦呈不帶磁性或帶弱磁性狀態。但在磁性Fe-base系統中材料磁性會受雜質影響而減弱；在居里溫度時，鐵磁性結構會轉變為順磁性結構。  <div style="text-align: right;">             預期目標達成率：65%              (若不敷使用請另加附頁繕寫)           </div>	其它具體成效：	溫度增加時，電阻 $\rho$ 也增加，在電阻率( $d\rho/dT$ )與對T有最大值時，可得居里溫度，在居里溫度材料會發生結構轉變。  <div style="text-align: right;">             (若不敷使用請另加附頁繕寫)           </div>
計畫預期目標：	本計畫執行中預計完成： 1. 金屬材料樣品製造； 2. 金屬材料加熱鈍化。 3. 在室溫下，以VSM測量不同樣品的磁化強度；						
計畫執行結果：	RS304或SS316L，為完全不帶磁性或帶弱磁性的材料，SS316L不鏽鋼中，添加Ag時，亦呈不帶磁性或帶弱磁性狀態。但在磁性Fe-base系統中材料磁性會受雜質影響而減弱；在居里溫度時，鐵磁性結構會轉變為順磁性結構。  <div style="text-align: right;">             預期目標達成率：65%              (若不敷使用請另加附頁繕寫)           </div>						
其它具體成效：	溫度增加時，電阻 $\rho$ 也增加，在電阻率( $d\rho/dT$ )與對T有最大值時，可得居里溫度，在居里溫度材料會發生結構轉變。  <div style="text-align: right;">             (若不敷使用請另加附頁繕寫)           </div>						