

## 第四章 實驗結果

本次實驗的試片規劃及試片厚度表，如表 4.1 所示，在試片製作完畢並進行機械特性(楊氏係數、硬度及熱膨脹係數)量測後，電鍍鎳薄膜材料在不同的厚度及在不同的電鍍電流密度時的實驗結果如下所示。

表 4.1 電鍍鎳實驗試片規劃及試片厚度表。

厚度( $\mu\text{m}$ ) 電流密度( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	4	8	12	16
5	試片編號 05-04 Beam : 3.6 Anchor:3.6	試片編號 05-08 Beam : 8 Anchor:8.2	試片編號 05-12 Beam : 11.3 Anchor:12.3	試片編號 05-16 Beam : 15.5 Anchor:16.8
10	試片編號 10-04 Beam : 4 Anchor:4	試片編號 10-08 Beam : 8.2 Anchor:8	試片編號 10-12 Beam : 12 Anchor:12.7	試片編號 10-16 Beam : 15.9 Anchor:15.9
15	試片編號 15-04 Beam : 3.9 Anchor:3.9	試片編號 15-08 Beam : 7.5 Anchor:7.5	試片編號 15-12 Beam : 12 Anchor:11.9	試片編號 15-16 Beam : 15.9 Anchor:16
20	試片編號 20-04 Beam : 4 Anchor:4	試片編號 20-08 Beam : 8.1 Anchor:7.9	試片編號 20-12 Beam : 11.9 Anchor:11.6	試片編號 20-16 Beam : 16 Anchor:15.8

※厚度控制在 $\pm 10\%$ 內；電鍍液溫度： $50\text{ }^\circ\text{C}$ ；使用銅背板(外露面積： $7\text{ cm}^2$ )

#### 4.1 電鍍鎳微結構材料楊氏係數量測結果

電鍍鎳微結構材料楊氏係數實驗結果，請參照表 4.2、圖 4.1、圖 4.2。  
 以下資料顯示出電流密度固定，鍍層厚度愈厚時，鍍層楊氏係數愈低；鍍層厚度固定、電流密度愈高時，鍍層楊氏係數愈低。

表 4.2 電鍍鎳微結構材料楊氏係數量測資料。

單位：GPa

試片編號	量測值								平均值
05-04	200.8	202.3	204.1	212.2	217.0	221.3	230.2	231.2	214.9
05-08	190.1	202.5	206.4	208.7	210.7	216.0	220.0	224.5	209.9
05-12	183.9	187.3	197.0	198.9	208.2	216.3	219.8	225.5	204.6
05-16	185.0	192.3	195.3	203.2	206.4	210.2	215.3	218.7	203.3
10-04	193.7	201.0	205.7	209.6	218.3	221.2	223.7	226.8	212.5
10-08	183.6	191.8	199.0	202.9	209.6	213.3	215.5	224.0	205.0
10-12	180.3	191.2	196.1	201.6	202.1	203.5	204.3	210.0	198.6
10-16	178.3	184.5	185.4	191.1	192.5	195.2	195.9	205.3	191.0
15-04	190.7	203.6	205.3	207.5	207.5	212.6	217.4	225.3	208.7
15-08	179.8	183.3	186.3	195.4	212.3	213.4	215.2	217.7	200.4
15-12	175.0	189.4	198.3	201.8	203.6	204.2	205.5	205.8	198.0
15-16	170.3	175.3	184.2	192.9	197.6	198.3	199.6	202.4	190.1
20-04	188.7	194.5	196.7	198.5	203.0	207.5	215.1	216.0	202.5
20-08	179.2	188.5	190.5	195.2	199.1	201.9	207.2	214.5	197.0
20-12	170.6	180.1	190.3	192.3	196.7	198.3	205.5	206.8	192.6
20-16	168.3	179.0	184.9	185.3	186.0	186.3	186.9	188.5	183.2

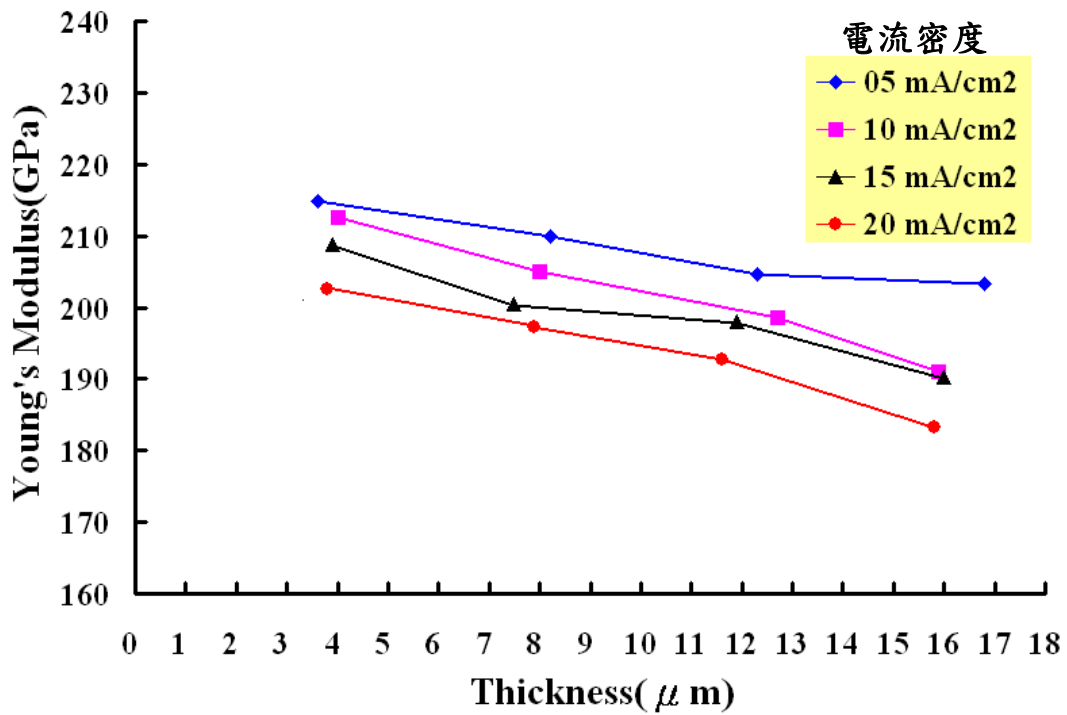


圖 4.1 電流密度固定，鍍層厚度變化時，楊氏係數的變化。

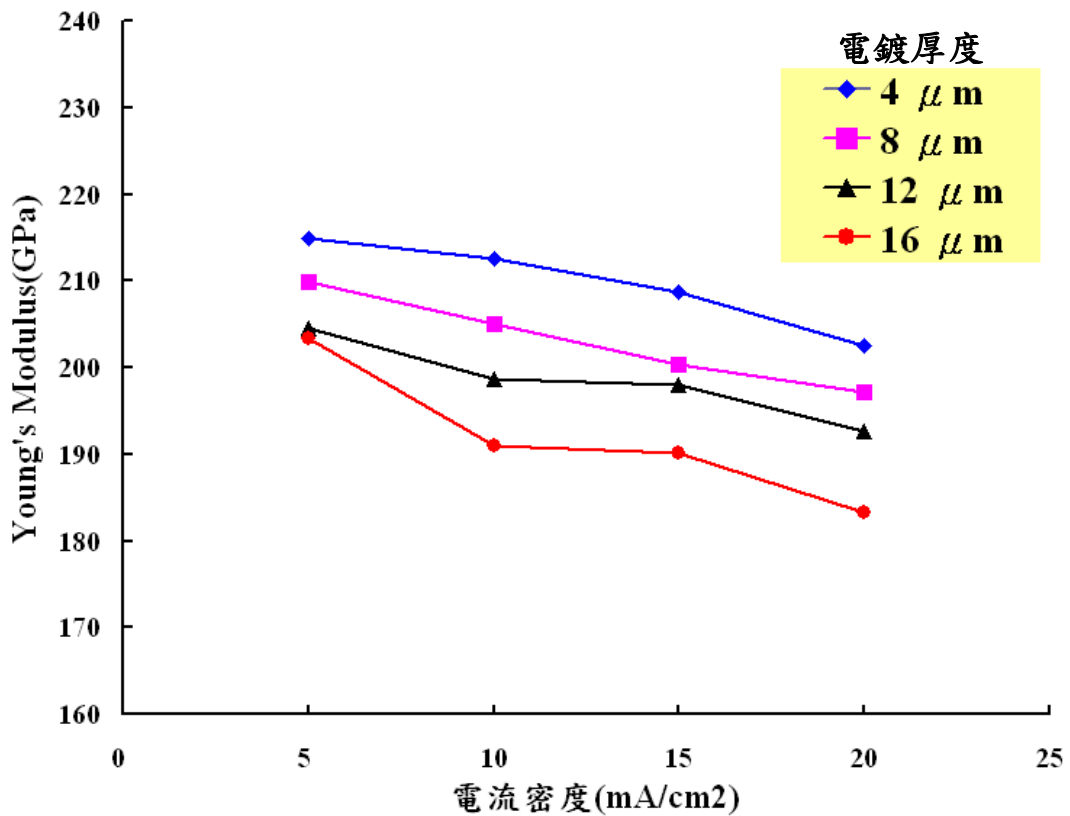


圖 4.2 鍍層厚度固定、電流密度變化時，楊氏係數的變化。

## 4.2 電鍍鎳微結構材料硬度量測結果

電鍍鎳微結構材料硬度實驗結果，請參照表 4.3、圖 4.3、圖 4.4。以下資料顯示出電流密度固定，鍍層厚度愈厚時，鍍層硬度愈低；鍍層厚度固定、電流密度愈高時，鍍層硬度愈低。

表 4.3 電鍍鎳微結構材料硬度量測資料。

單位：GPa

試片編號	量測值								平均值
05-04	5.14	5.19	5.33	5.53	5.61	5.75	5.76	5.96	5.53
05-08	5.00	5.05	5.10	5.35	5.39	5.48	5.55	5.67	5.32
05-12	4.69	4.77	4.97	5.03	5.11	5.19	5.40	5.45	5.08
05-16	4.32	4.45	4.56	4.68	4.90	5.00	5.01	5.06	4.75
10-04	5.01	5.05	5.10	5.19	5.25	5.43	5.58	5.74	5.29
10-08	4.63	4.89	4.99	5.13	5.25	5.34	5.43	5.55	5.15
10-12	4.51	4.54	4.65	4.78	4.85	4.89	4.91	5.09	4.78
10-16	4.02	4.12	4.30	4.53	4.73	4.75	4.83	4.85	4.52
15-04	4.59	4.71	4.85	4.94	5.03	5.11	5.23	5.37	4.98
15-08	4.26	4.53	4.61	4.81	4.88	4.90	4.93	5.22	4.77
15-12	4.15	4.21	4.40	4.43	4.44	4.64	5.07	5.07	4.55
15-16	3.78	3.99	4.10	4.25	4.46	4.63	4.71	4.81	4.34
20-04	4.17	4.35	4.60	4.73	4.85	4.92	5.09	5.17	4.74
20-08	4.16	4.24	4.32	4.51	4.65	4.71	4.79	5.27	4.58
20-12	3.95	4.18	4.25	4.44	4.55	4.58	4.83	4.92	4.46
20-16	3.56	3.83	3.95	4.34	4.44	4.57	4.63	4.75	4.26

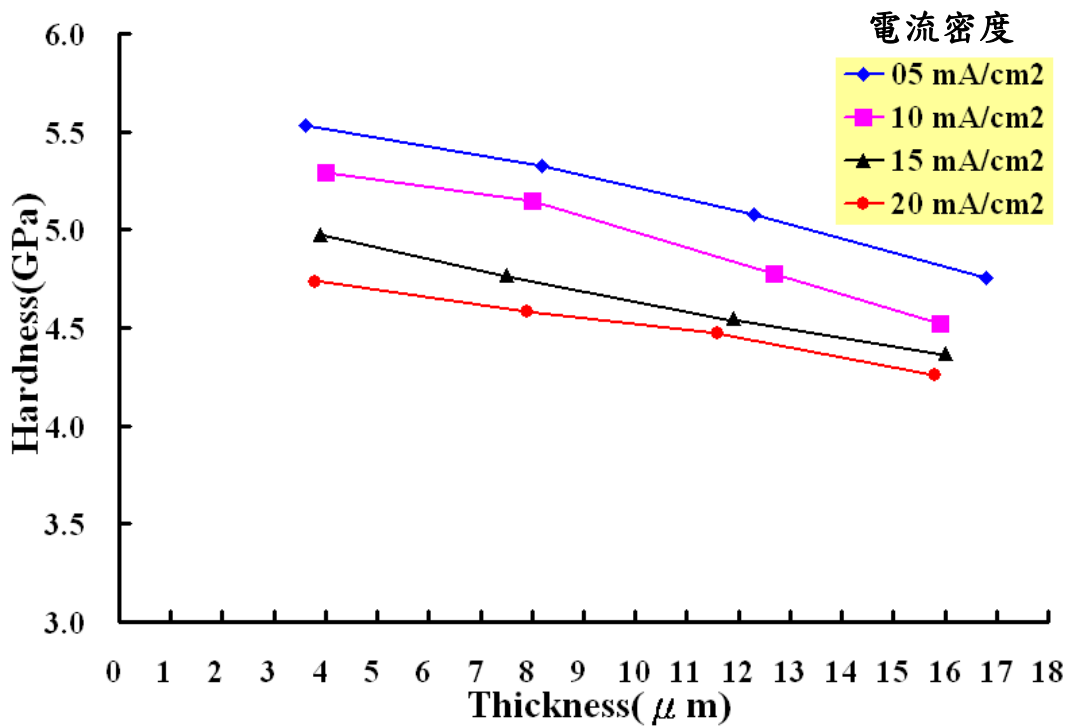


圖 4.3 電流密度固定，鍍層厚度變化時，硬度的變化。

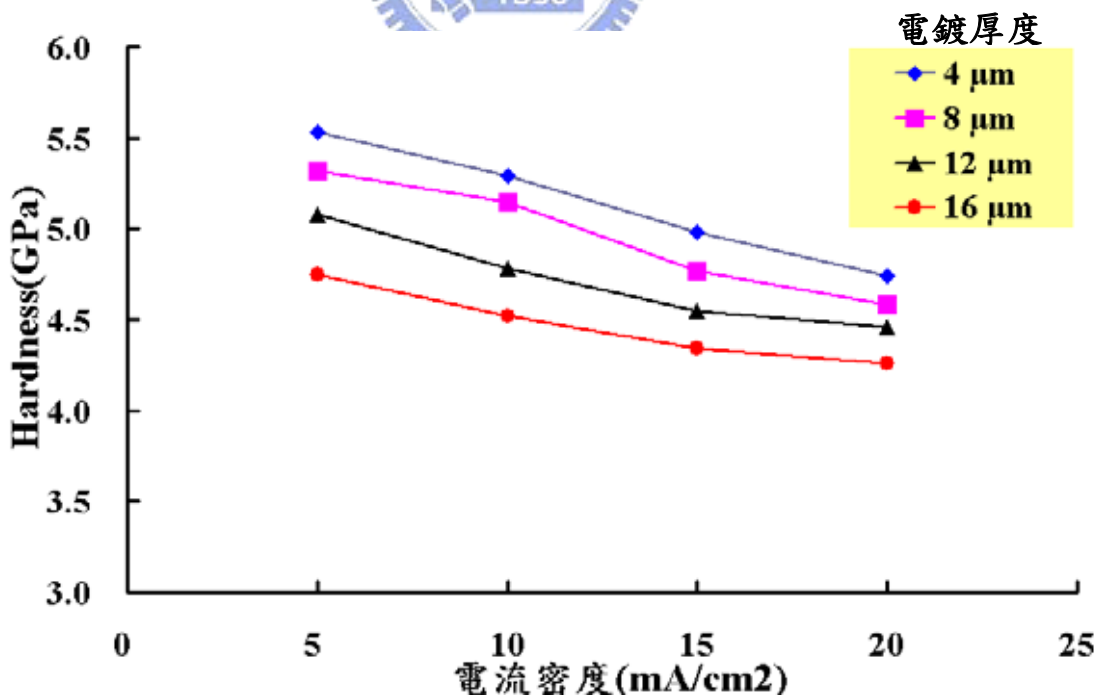


圖 4.4 鍍層厚度固定，電流密度變化時，硬度的變化。

### 4.3 電鍍鎳微結構材料熱膨脹係數量測結果

電鍍鎳微結構材料楊氏係數實驗結果，請參照表 4.4、圖 4.5、圖 4.6。  
 以下資料顯示出電流密度固定，鍍層厚度愈厚時，鍍層熱膨脹係數愈高；鍍層厚度固定、電流密度愈高時，鍍層熱膨脹係數愈高。

表 4.4 電鍍鎳微結構材料熱膨脹係數量測資料。

單位： $\mu\text{m}/\text{m}$

厚度( $\mu\text{m}$ ) 電流密度( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	4	8	12	16
5	Beam 翹曲 無法量測	8.96	9.04	11.21
10	Beam 翹曲 無法量測	8.96	11.16	13.39
15	Beam 翹曲 無法量測	13.45	15.76	17.62
20	Beam 翹曲 無法量測	15.62	17.85	17.85



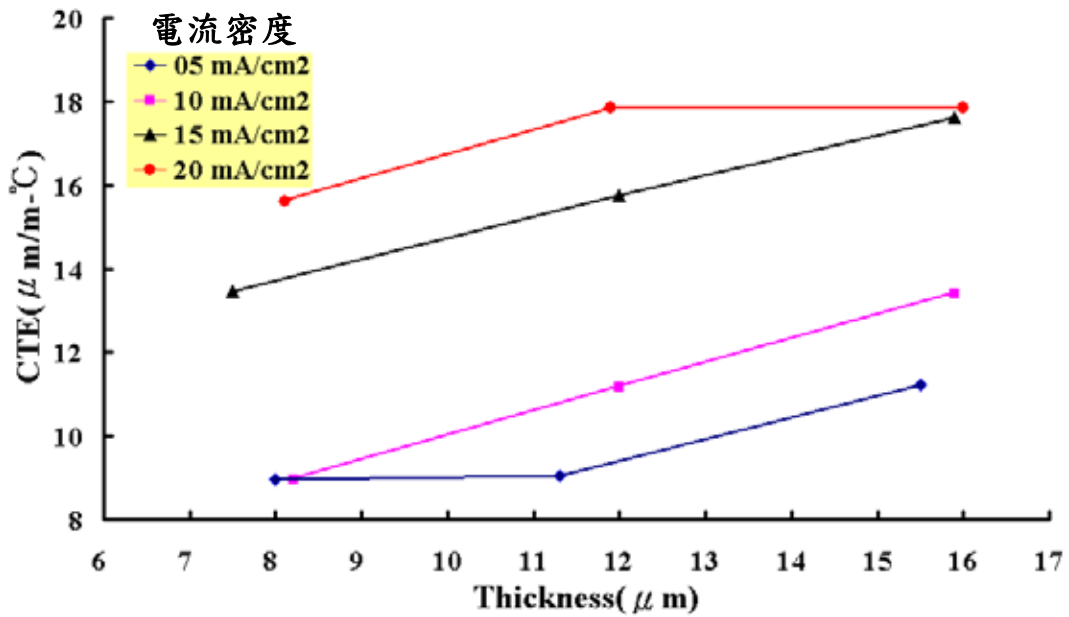


圖 4.5 電流密度固定，鍍層厚度變化時，熱膨脹係數(0~250°C 平均值)的變化。

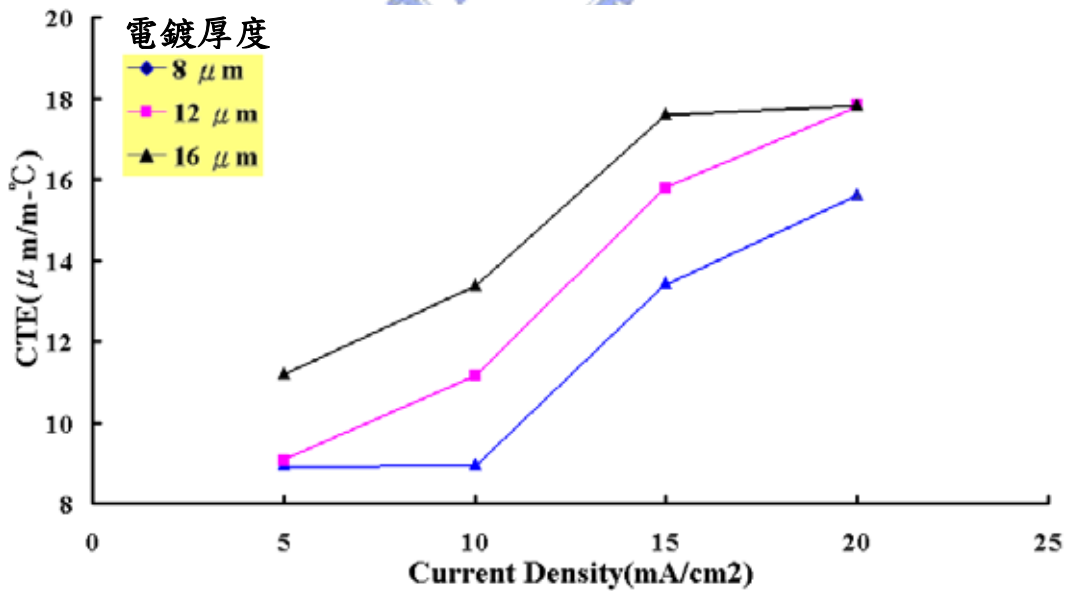


圖 4.6 鍍層厚度固定，電流密度變化時，熱膨脹係數(0~250°C 平均值)的變化。