

2023 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

- 作品編號** 100035
- 參展科別** 工程學
- 作品名稱** 陶瓷燒成新技術- 以家用微波爐及自製集熱盒
燒製高溫陶瓷之研究 Research on firing high
temperature ceramics with household
microwave oven and self-made heat collection
box
- 得獎獎項** 二等獎
墨西哥-國際科學博覽會(ESI)代表
- 就讀學校** 臺中市立大甲高級中學
- 指導教師** 黃嘉男
- 作者姓名** 彭子瑜、黎昱君、楊仲宇
- 關鍵詞** 微波(microwave)、集熱盒(heat collection box)、
陶瓷燒成(ceramic firing)

作者簡介



大家好，我們是彭子瑜、黎昱君、楊仲宇，就讀於台中市大甲高中二年級。

我們三個平常對自然科學就很有興趣，而且我們都是陶藝社的成員，因為對陶藝及科學共同的喜愛，我們發現傳統電窯燒製需要很久的時間，所以想研究出更快的燒製方法，讓我們能更快看見自己期待的成果，因此才有了這次科展的經驗。

在研究的過程中我們學到了很多課本中不曾教過卻同樣重要的知識，包括團隊合作、文書處理還有科學研究的方法。這兩年的科展最感謝的是指導老師耐心殷切的幫助我們，讓我們能有這樣特別的體驗及回憶！

摘要

本研究以家用微波爐及自製集熱盒燒製高溫陶瓷，用於家用微波爐的集熱盒材料的材質以玻璃纖維為主體為佳，集熱材料使用碳化矽顆粒級配重量比為 1:3(320 目碳化矽:180 目碳化矽) 有最佳的微波吸熱效率並半浸泡的方式沾黏 3.02mm (10 層)最好；集熱盒玻璃纖維與集熱材料碳化矽之間的高溫黏著劑，以體積比 3:7(矽酸鈉:水)為最佳配比。以家用微波爐搭配自製集熱盒可於 26.5 分鐘便可燒結陶瓷上釉作品，與傳統電窯需 480 分鐘比較可大幅減少 94.48%的燒製時間，且其耗費的能源可省去 89.44%的電費，以家用微波爐及自製集熱盒燒製之陶瓷品與傳統電窯燒製之陶瓷品在洛式硬度儀上測試結果無明顯差異，是未來極具發展性的陶瓷燒成技術。

Abstract

In calcination section of ceramic production, using traditional electric kiln consumes much time and (electric) energy, while heating target object to a high temperature by the combination of microwave oven and heat collector can reduce the time spent on calcination process. Our scientific research is aimed to examine the material and variables of heat collector, and to discover the best data to achieve the highest temperature and succeed in producing the ceramics with the combination of microwave oven and heat collector. The experiments in this research tested different ratios of used materials in heat collector in the domains of weight and volume. The results showed the glass fiber(GF) with 10 layers (3.02mm) of Sic achieve the best efficiency of endothermic reaction, with sodium silicate and water mixed as the high-temperature adhesive in the volume ratio of 3 to 7. It is demonstrated that ceramic calcination is practicable by using microwave oven and heat collector in 26.5 minutes, 94.48% of reduction in heating time compared with the traditional electric kiln. In the Rockwell hardness test, no significant differences were found between the usage of traditional electric kiln and microwave oven. These findings suggest that the combination of microwave oven and heat collector is emerging as a promising heating technique.

壹、前言

一、研究動機

我們在陶藝社的社團課中學習製作陶藝的技法並可以發揮自己的創意和巧思做出屬於自己的陶藝作品，但每次做完後總是要等待 1-2 周的時間，作品才能燒製完成，因此每次拿到作品時已經過了好幾個禮拜，中間等待的過程非常的期待卻又煎熬，經過我們對陶藝成形的進一步了解，最後經電窯燒成也耗很多時間，一般的陶藝電窯使用發熱體發熱，然後產生輻射熱至陶藝作品上進行作品的素燒及釉燒，根據發熱體的線徑不同，升溫速度為每小時攝氏 60 度至 120 度之間，若以陶藝作品需燒至 1250 度，升溫需要耗時 10 至 12 小時，因此我們想找出新的燒窯技術，能使得陶瓷作品在更短的時間內燒製到 1250 度，並維持作品的良率，新的燒制技術需比傳統電窯節省電費，更能節省時間，作品漫長的等待時間能夠大幅減少，大幅地降低陶瓷藝術燒製的門檻。

二、研究目的

本研究使用家用微波爐搭配自製集熱盒燒製陶瓷作品，研究目的如下：

- 1.研究用於家用微波爐的集熱盒材料的材質的最佳配比與吸熱效率。
- 2.研究用於家用微波爐的集熱盒材料的高溫黏著劑的最佳配比。
- 3.研究使用家用微波爐燒製陶藝作品的方法以及程序。
- 4.研究使用家用微波爐燒製陶藝作品與傳統電窯的比較。

三、文獻分析

本研究先進行微波加熱原理與集熱材料的文獻分析，然後進行一系列實驗驗證，分述如下：

(一)微波加熱原理

微波是一種電磁波，無線電波、紫外線、可見光也都是電磁波的一種，但微波的頻率相較其他電磁波短，約 300MHz~300GHz，波長為 0.1~100cm 之間（如圖 1），微波具有穿透、反射、吸收三個基本性質，且微波也像其他的電磁波一樣有波粒二象性。

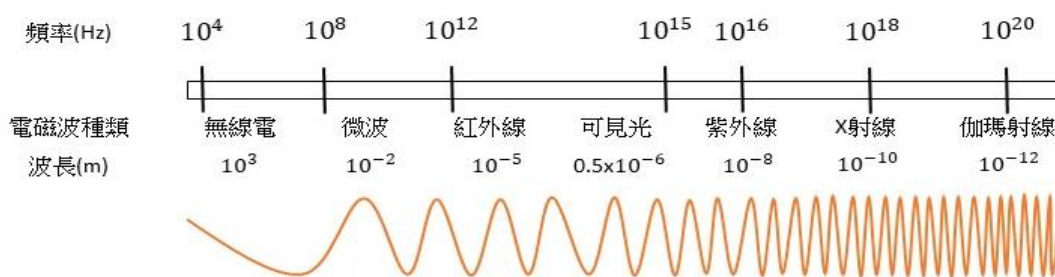


圖 1 電磁波譜(本研究自行繪製)

微波加熱的原理是因為微波爐發出的微波，會在微波爐裡產生一個交變的外電場，物質中具有極性分子，這些極性分子因為外電場而不斷轉換方向，在轉換方向的過程中，極性分子會互相碰撞、摩擦，過程中動能轉換為熱能，進而達到加熱升高溫度的目的。

(二) 陶瓷燒結原理與各種比較

陶瓷是將陶土或瓷土經素燒過後，在表面塗上釉藥，送入高溫窯爐燒製，燒製的過程陶土、瓷土會燒結，最後形成緻密、堅固且吸水性低的陶瓷成品。素燒的溫度約 800~900°C，素燒的目的是為了讓乾燥後的陶土或瓷土更堅固，避免沾到水或受到輕微撞擊就破裂損毀。燒結（圖 2）是讓粉末狀的陶、瓷土原料轉換成結晶且變得更加緻密的過程，溫度約為 1230°C，燒結其實並非陶藝界的專有名詞，燒結也常被應用於製造耐火材料、粉末冶金等，燒結過的物質內部有氣孔、晶體、玻璃體等，熱壓燒結、壓力燒結、等離子活化燒結都是常見的燒結方式。

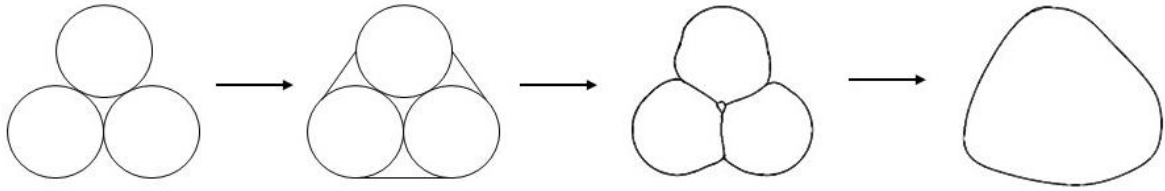




圖 2 燒結示意圖(本研究自行繪製)





陶瓷的原料有陶土與瓷土，燒製後分別為陶器與瓷器，無論是燒製前抑或燒製完成，陶器與瓷器在諸多方面都有不同的特色，下表 1 為其比較：

表 1 陶器與瓷器的差異及特色比較表

	陶器	瓷器
原料	黏土或陶土	瓷石或高嶺土
溫度	800~1000 °C	1300~1400 °C
色澤	鐵紅色或咖啡色	白色
聲音	低濁	清脆
硬度	較低	較高
吸水率	較高	較低
透光性	不透光	微透光
施釉	不施釉或低溫釉	高溫釉
附圖		

窯燒也有許多加熱方式，因其加熱方式的不同，各有特色及優缺點，不同的陶藝家或作品類型也有其偏好或適合的窯燒方式，下表 2 為各種窯燒方式的比較：

表 2 現今窯燒方式及其差異比較表

	柴窯	電窯	瓦斯窯	快速滾軸窯
加熱方式	燃煤或燃木柴以達到高溫	通電於電阻體，使其產生熱	燃燒瓦斯產生高溫	以滾軸將坯體送入窯內
特色	易失敗卻有其「自然美感」	極具穩定性且操作簡便	可以進行氧化燒及還原燒	以電腦自動控制且快速
圖片				
所需能源	低	高	高	高
汙染	高	低	低	低

(三) 釉藥燒結原理

釉藥的成分主要為礦石粉末，不同比例的成分會影響燒結後釉藥的顏色、透明度，常見的成分如長石類、高嶺土等，釉藥依燒結的溫度大致分為低溫、中溫、高溫釉，燒結的溫度分別為 1000°C 以下、1000°C~1260°C、1260°C 以上。本研究所使用的 5 號釉及 14 號釉都屬於中溫釉。當釉藥達到燒結溫度後，變成熔融狀態，在冷卻後形成一層玻璃質的外殼，可以保護陶瓷作品更達到美觀的效果。

(四) 微波燒結原理

此技術最早是 W.R.Tinga 在 20 世紀的時候提出，現今的微波燒結技術是將微波窯放進微波爐裡加熱，利用微波爐的加熱原理及微波窯的特殊結構，在短時間達到 900 度以上的高溫。微波窯的外殼是由陶瓷纖維所構成，陶瓷纖維屬於透明型材料，很少吸收微波，低導熱且熱量不易從內散失，進而達到保溫的功效，上蓋的內層塗料是高純度的碳化矽，因其具有良好的導熱特性，導熱係數約 490(W/mk) 加熱速度快，能在短時間內達到所需高溫。

在台灣，燒製陶瓷仍多使用傳統柴窯、電窯及瓦斯窯等，相較微波燒結來的耗時與昂貴，因此本研究即是將這項技術應用於燒製陶瓷上，並改良微波窯，讓微波窯的製造成本再降低。

(五) 玻璃與陶瓷的比較

微波燒結技術在國外已被用於熔融玻璃，玻璃與陶瓷的相同之處，他們都須通過高溫才能成型，且易碎、不溶於水又耐熱，他們的原料也十分相似，都是砂石、土類的東西，陶土的成分主要是高嶺石、水白雲母、蒙脫石、石英、長石；玻璃的原料主要也為石英。

玻璃與陶瓷最大的差異是透明度與轉變結構所需的溫度不同，使陶瓷燒結與釉藥轉變為玻璃質的溫度常為 1230°C，不同的土與釉藥，所需的燒結溫度也不同。玻璃沒有熔點，只有軟化點約 600 度，溫度越高，軟化程度也越高，因此利用微波窯燒製陶瓷，需比玻璃更多的時間與更高的溫度。

(六)微波吸收材料

微波吸收材料有很好的吸波性，可以吸收電磁波且反射、散射很小的材料，在軍事方面常作為雷達的隱身材料。微波吸收材料的成分主要為吸收劑、黏著劑和其他助劑等，而吸收劑又大大影響了吸收材料的性能，常見的吸收劑如：鐵氧體粉、羰機鐵粉、碳化矽粉等等。此研究所用的碳化矽粉除了作為一種微波吸收材料，亦有很好的導熱特性：密度 $3(\text{g}/\text{cm}^3)$ 時，導熱係數約為 $130(\text{W}/\text{m}\cdot\text{K})$ ，因此他在吸收微波之後能夠在短時間達到高溫，故本實驗自製微波窯的內層塗料選擇利用碳化矽粉，並用不同顆粒大小混合，以達到良好的發熱效率。


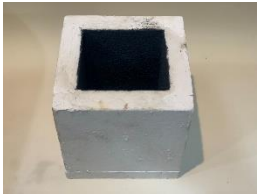






(七)矽酸鈉(水玻璃)

矽酸鈉在水中有水解的現象： $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SiO}_3$ ，水解後鈉離子被分離，產生矽酸，矽酸是一種膠狀水溶液，會慢慢聚合為高聚矽膠，水分蒸發後，膠體分子會膨脹變大，然後形成一層高溫膠水塗膜(-SiO-O-SiO-)，可以耐 $1500\sim 1600^\circ\text{C}$ 的高溫，由於水玻璃製成的膠水有良好的高溫成膠性、易取得且價格低廉，因此本實驗選作為內層碳化矽塗料的黏著劑。

貳、研究設備器材及原料




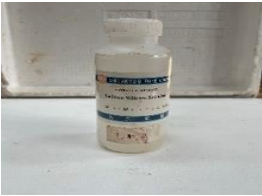
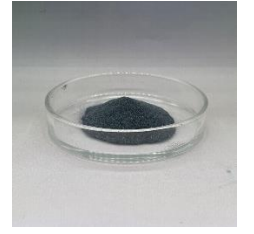
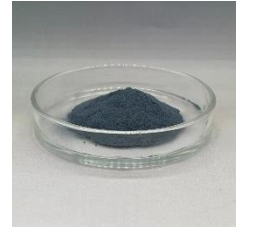














傳統電窯燒製陶藝作品耗時極長，從燒製到完成常需好幾天時間；使用家用微波爐的集熱盒是以外層保溫耐火材料及內層微波吸收材料所製成，而這種特殊結構可以讓集熱盒內在短時間內達到極高的溫度，在台灣目前多應用於玻璃工業上，熔融玻璃的溫度約為 780°C ，而陶瓷燒結的溫度約 1230°C ，因此本研究利用實驗不同配比的集熱材料及自行調配高溫黏著劑的比例，試著提高微波窯的溫度，並找到不會使陶瓷因受熱過快而炸裂的升溫時間曲線，大幅減少時間及能源成本。表3為本研究所需之實驗器材。

表 3 主要研究設備器材

名稱	微波爐	自製集熱盒	高溫測溫計	電子秤
圖片				
附註	聲寶 25L900W 平台機械微波爐 (RE-N725PR)	15*15*15 (cm)	用於測量 1000°C 以上高溫	配製不同粗細顆 粒的碳化矽粉
名稱	耐火磚(薄)	量筒	實驗用電窯	Vernuer Labquest
圖片				
附註	用於隔熱及內層 塗料測試之試片	配製不同比例之 矽酸鈉水溶液	試片素燒及釉燒 作為對照組	用於記錄溫度

陶藝作品的燒製從陶土至燒成共有兩個部份：素燒與釉燒。素燒的溫度約為 900°C，釉燒則為 1230°C，但由於陶瓷不像玻璃具有延展性，若升溫過快容易炸裂，因此須找到陶瓷能承受的升溫速度，及可承受溫度達 1230°C，因此本研究也利用碳化矽、矽酸鈉與高溫玻璃纖維板製作一個成本較低，微波爐專用的集熱盒。本研究主要使用之研究的原料如下表 4。

表 4 主要研究原料

名稱	陶土試片	瓷土試片	未素燒陶土試片	矽酸鈉
圖片				
附註	用於釉燒實驗	用於釉燒實驗	用於素燒實驗	作為高溫膠水材料
名稱	碳化矽(320 目)	碳化矽(180 目)	耐火磚(厚)	日化長石
圖片				
附註	作為內層塗料	作為內層塗料	作為外殼保溫材	釉藥原料
名稱	石英	輕質碳酸鈣	碳酸鋇	氧化鈦
圖片				
附註	釉藥原料	釉藥原料	釉藥原料	釉藥原料
名稱	碳酸鋰	美國高嶺土	氧化銅	霞正長石
圖片				
附註	釉藥原料	釉藥原料	釉藥原料	釉藥原料
名稱	氧化鋅	碳酸銅	氧化錫	氧化鋯
圖片				
附註	釉藥原料	釉藥原料	釉藥原料	釉藥原料

參、研究過程及方法

一、研究過程及方法

研究流程圖如下圖 3，並將研究方法及相關實驗分述如下：

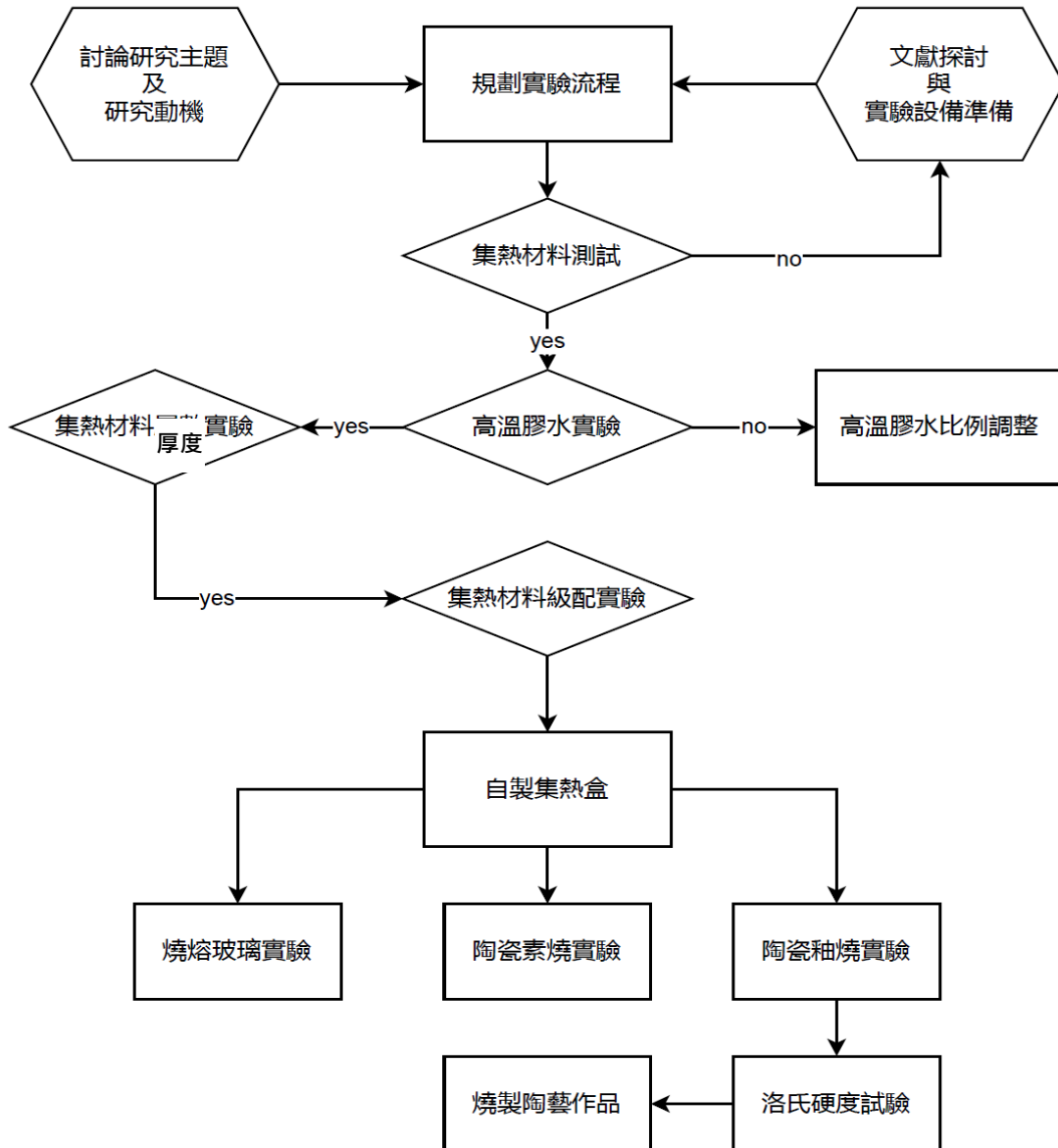


圖 3 研究過程及方法流程圖

(一) 集熱材料選擇與測試：測試碳化矽粉與氧化鋯粉在微波環境下對發熱效率影響

實驗步驟：1.取些許碳化矽粉與氧化鋯粉置於耐火磚上

2.以陶瓷圓柱及耐火磚罩住

3.放入微波爐加熱測試是否產生高溫

(二) 高溫膠水比例試驗：以不同比例濃度之水與矽酸鈉對發熱效率影響

實驗步驟：1.調製 8 種矽酸鈉不同體積比例(矽酸鈉:水)：1:9、2:8、3:7、4:6、5:5、6:4、7:3、8:2

2.在 3x3cm 的耐火磚上沾取高溫膠水

3.將沾取膠水的耐火磚塗上碳化矽粉(180 目)

4.沾取 3.08mm 的碳化矽粉(10 層)

5.入微波窯燒固定時間後取出測溫：找出發熱效率最好的膠水濃度

(三) 碳化矽厚度集熱試驗：找出發熱效率最好的碳化矽厚度

實驗步驟：1.調製先前實驗之最高發熱效率的高溫膠水比例

2.在 3x3cm 耐火磚上沾取高溫膠水

3.入微波窯燒固定時間後取出測溫：找出發熱效率最好的碳化矽厚度

4.沾取不同厚度碳化矽，層數與厚度對照如下表。

層數	2 層	4 層	6 層	8 層	10 層	12 層	14 層	16 層
厚度(mm)	0.72	1.15	1.67	2.34	3.02	3.99	4.93	6.58

(四) 碳化矽粒徑級配試驗：找出發熱效率最好的碳化矽顆粒級配比例

實驗步驟：1.調製先前實驗之最高發熱效率的高溫膠水比例

2.在 3x3cm 耐火磚上沾取高溫膠水

3.沾取 3.02mm 的碳化矽粉(10 層)，級配表如表 5。

表 5 本實驗不同顆粒的碳化矽級配表

	0:1	1:3	1:1	3:1	1:0
320 目	0	25	50	75	100
180 目	100	75	50	25	0

4.入微波窯燒固定時間後取出測溫：找出發熱效率最好的碳化矽顆粒比

(五) 自製集熱盒試驗

1.將厚度 25mm 的玻璃纖維以下列工程圖標示之尺寸切割並切割出卡榫。

2.將上述實驗所得最佳比例之高溫膠水均勻的塗抹在玻璃纖維接縫處，並加熱到 400°C 使之乾燥且初步黏接。

3.將裡面的牆體均勻的塗抹上高溫膠水，並倒入碳化矽，使之附著上玻璃纖維牆體，並重複多次。

4.放入微波窯大火 15 分使碳化矽集熱層與牆體附著以及使外層玻璃纖維完全黏合。

(六) 使用自製集熱盒及家用微波爐熔融兩片玻璃試驗

實驗步驟：

1.將兩片玻璃上下疊置後放入自製集熱盒

2.大火加熱 15 分鐘

3.自然冷卻 3 小時後取出看結果：若兩片玻璃能夠熔融在一起，則可證明微波窯溫度能達到玻璃的軟化點 780°C。

(七) 使用自製集熱盒及家用微波爐進行陶瓷 900°C 素燒試驗

實驗步驟：

1.自然陰乾陶土試片的水分

2.使用自製集熱盒及家用微波爐進行 900°C 素燒

(八) 使用自製集熱盒及家用微波爐進行陶瓷 1230°C 釉燒試驗

實驗步驟：

1.配置氧化 5 號釉藥及青瓷 14 號釉藥，並加水研磨

表 6 本實驗 5 號釉藥配方

名稱	日化長石	石英	輕質碳酸鈣	碳酸鋇	氧化鈦	碳酸鋰	美國高嶺土	氧化銅
重量	550g	150g	60g	150g	20g	90g	20g	10g

表 7 本實驗青瓷 14 號釉藥配方

名稱	霞正長石	石英	氧化鋅	輕質碳酸鈣	碳酸鋇	美國高嶺土	碳酸銅	氧化錫
重量	300g	260g	60g	160g	80g	80g	3g	80g

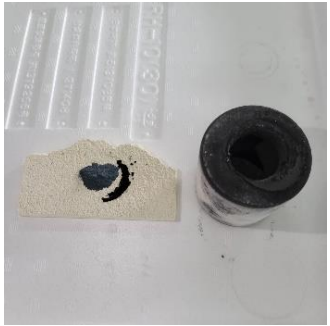


- 將陶土試片及瓷土試片試片上半部份沾釉
- 入微波窯進行釉燒，並與電窯燒製之試片使用洛氏硬度儀比較差異

肆、研究結果

一、集熱材料選擇與測試：測試碳化矽粉與氧化鋇粉在微波環境下對發熱效率影響

為了確保我們所使用的碳化矽粉與氧化鋇粉具有良好的導熱性可以聚熱，我們將些許碳化矽與氧化鋇粉置於低導熱的耐火磚上以陶瓷圓柱蓋住，若碳化矽與氧化鋇粉可燒至高溫，則可確定我們將選擇使用的碳化矽或氧化鋇可作為自製集熱盒內層的塗料，實驗流程與結果氧化鋇最高溫只能到達 106°C，碳化矽可達 630°C，如下表 8。

表 8 碳化矽測試步驟一覽表

實驗步驟	入窯測試前	微波加熱 7 分 35 秒	微波加熱 12 分 38 秒
圖示			
溫度	室溫	450°C	630°C

實驗結果：碳化矽粉可以吸收微波並集熱，可作為集熱盒內層塗料的選擇。

二、高溫膠水比例實驗：找出發熱效率最好矽酸鈉混和水的比例

此實驗的目的是在比較在相同時間加熱下，藉由測量溫度高低找出發熱效率最好的膠水濃度比，作為自製集熱盒的黏著劑選擇，並分成兩組試片：第一組為測試膠水比例對於結構變化的影響；第二組試片：測試膠水比例對於在不同時間下對發熱效率的影響。

(一)第一組試片：測試重複集熱五次，測試膠水比例對於結構變化的影響：

1. 配方參數：

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| (1) 1:9 : 10ml 矽酸鈉+90ml 水 | (5) 5:5 : 50ml 矽酸鈉+50ml 水 |
| (2) 2:8 : 20ml 矽酸鈉+80ml 水 | (6) 6:4 : 60ml 矽酸鈉+40ml 水 |
| (3) 3:7 : 30ml 矽酸鈉+70ml 水 | (7) 7:3 : 70ml 矽酸鈉+30ml 水 |
| (4) 4:6 : 40ml 矽酸鈉+60ml 水 | (8) 8:2 : 80ml 矽酸鈉+20ml 水 |

表 9 測試膠水比例對於結構變化的影響實驗操作方式表

	膠水比例(膠:水)	碳化矽厚度	顆粒大小	上膠方式
操作	體積比 2:8 4:6 6:4 8:2	3.16mm	碳化矽 180 目	將耐火磚浸泡膠水 10 秒後取出，沾取碳化矽，再噴灑同比例之膠水，重複噴灑與沾取至 3.16mm

實驗 1-1：測試塗層是否會因加熱次數而產生如龜裂等表面結構改變

表 10 烘乾前的碳化矽試片一覽表


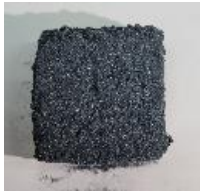
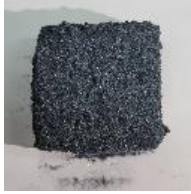

膠水比例	2:8	4:6	6:4	8:2
烘乾前的 碳化矽試片				

表 11 烘乾前的碳化矽試片一覽表

加熱次數	加熱前	加熱後	冷卻後
第一次加熱 (10 分鐘)			
第二次加熱 (10 分鐘)			
第三次加熱 (10 分鐘)			
第四次加熱 (10 分鐘)			
第五次加熱 (10 分鐘)			

實驗結果：

- 1.第一次加熱(10 分鐘)：無龜裂
- 2.第二次加熱(10 分鐘)：僅 8:2 的試片有些許龜裂
- 3.第三次加熱(10 分鐘)：8:2 的試片有龜裂，6:4 有些微膨脹
- 4.第四次加熱(10 分鐘)：8:2 的試片有龜裂，6:4 有些微膨脹
- 5.第五次加熱(10 分鐘)：8:2 的試片有龜裂，6:4 有些微膨脹

實驗 1-2：將單一塊高溫膠水濃度全為矽酸鈉的試片置於耐火磚上加熱

由於前幾次的測試都是將試片置於微波爐內加熱，此測試的目的是確認試片置於耐火磚上加熱時的情況及找出需要調整的地方。在加熱約 14 分鐘後取出觀察，發現試片的耐火磚部分與作為隔熱墊料的耐火磚皆熔掉，下表為取出後的結果。可以發現溫度過高導致耐火磚內因浸泡滲入的高溫膠水融化，因此之後的實驗我們將原先浸泡的方式改微噴灑高溫膠水的方式取代浸泡。

表 12 單一塊高溫膠水濃度全為矽酸鈉的試片的耐火磚部分熔掉情況表

方式	加熱約 14 分鐘	冷卻後使用工具敲除觀察
圖片		
說明	試片的耐火磚部分熔掉	隔熱墊料的耐火磚熔掉

實驗結果：浸泡的方式上膠會使耐火磚容易融化


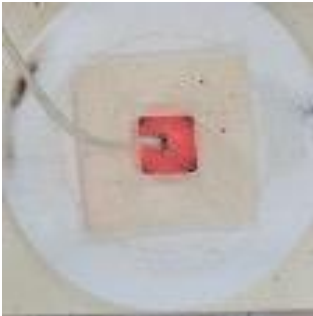

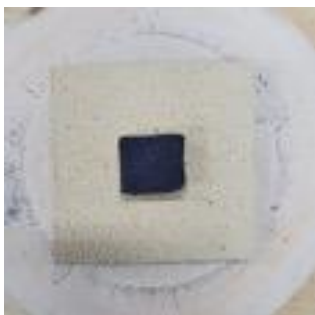

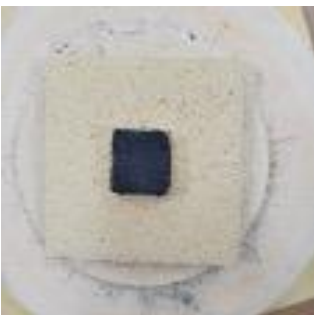

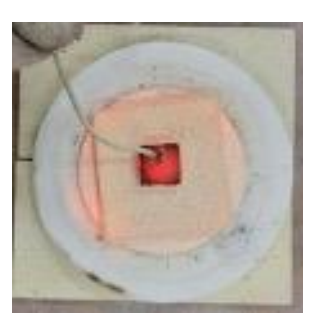
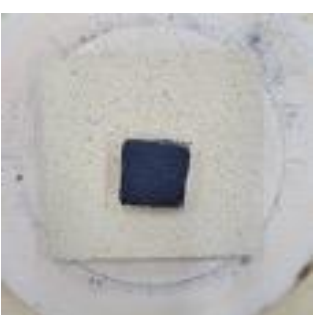


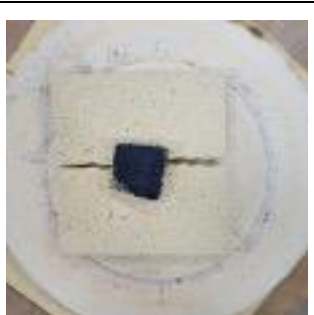
(二)第二組試片：測試膠水比例對於在不同時間下對發熱效率的影響，我們分別將不同比例之高溫膠水，將碳化矽塗上耐火磚使用微波大火分別持續 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘，將高溫測溫電熱偶放置於碳化矽塗層上持續 60 秒，並測其連續溫度並找出最高溫，並製成下表及圖示。

表 13 測試膠水比例對於在不同時間下對發熱效率的影響操作表

	膠水比例(矽酸鈉:水)	碳化矽 厚度	顆粒大小	上膠方式
操作	體積比： 1:9、2:8、3:7、4:6、 5:5、6:4、7:3、8:2	3.08mm	碳化矽 180 目	將耐火磚上直接噴灑膠水，沾取碳化矽，重複噴灑與沾取至 3.08mm

實驗操作方式如下表 14，使用微波大火分別持續 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘。

表 14 測試膠水比例對於在不同時間下對發熱效率的影響實驗狀況表

膠水比例	加熱前照片	測溫(持續 60 秒) 照片	冷卻後(10 分鐘) 照片
8:2			
6:4			
4:6			
2:8			

2-1.第一次測溫，微波大火持續 5 分鐘，將高溫測溫電熱偶放置於碳化矽塗層上持續 60 秒，並測其連續溫度並找出最高溫。

表 15 微波大火持續 5 分鐘測量溫度(°C)數據(粗體的為測得之最高溫)

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1:9	58.3	86.6	109.1	126.1	137.7	147.3	156.2	164	170.9	175.2	177.9
2:8	54.1	92.8	133	159.3	175.9	185.2	196.7	205.6	211	212.6	213.3
3:7	71.7	110.2	139.6	155.1	172.1	183.3	198.3	207.6	214.1	216.8	218.7
4:6	32.7	97.5	119.9	138.1	150.8	162.4	168.2	174.8	179.8	185.2	188.3
5:5	25.0	107.1	150.8	175.9	192.1	202.5	209.1	211.8	211	212.6	208.7
6:4	54.5	93.6	122.1	147	161.3	170.9	179	187.5	194	199.4	203.7
7:3	61.4	95.1	119.1	135.4	149.3	160.5	167	171.3	177.9	183.3	185.6
8:2	70.8	104.9	134.8	158.4	175.7	190	200.5	210.5	216.7	221.3	225.6
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
1:9	180.9	186	190.6	192.5	195.2	196.4	198.3	200.2	201.8	202.9	204.1
2:8	218	219.5	222.6	225.3	223.3	222.6	223.3	223	223.3	224.1	224.1
3:7	221	222.2	222.6	224.1	225.7	226.4	227.2	226	223	219.1	215.3
4:6	191.7	194.4	196	197.5	198.3	198.7	198.3	198.3	198.3	199.4	199.8
5:5	207.6	207.6	207.6	207.2	207.2	207.6	203.7	202.1	200.6	199.8	199.8
6:4	207.6	210.6	213.3	212.6	214.9	216.8	216.4	216.8	218	218	219.5
7:3	187.5	189.4	187.1	182.9	179.8	179	176.3	175.9	174.4	175.9	177.1
8:2	228.7	231.3	234.8	236.4	235.2	233.7	233.7	232.5	231.7	231.3	228.7
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
1:9	204.9	206.4	207.9	206.8	205.6	206	206.4	206.8	206		
2:8	223	221.4	221	218	215.6	216.4	213.7	211.4	211.4		
3:7	212.9	206.8	202.1	197.9	193.7	191.3	190.6	191.7	191.3		
4:6	201.0	199.4	200.2	199.8	199.8	199.1	199.4	199.4	198.7		
5:5	198.3	194.8	192.5	191.7	192.1	190.2	163.6	154.3	150		
6:4	218.3	218.7	216.8	214.9	213.3	211	207.9	207.6	206		
7:3	177.9	177.9	176.3	171.7	169	168.6	168.6	167.8	168.6		
8:2	226.3	223.3	220.2	217.9	216.3	215.5	214.1	212.5	210.9		

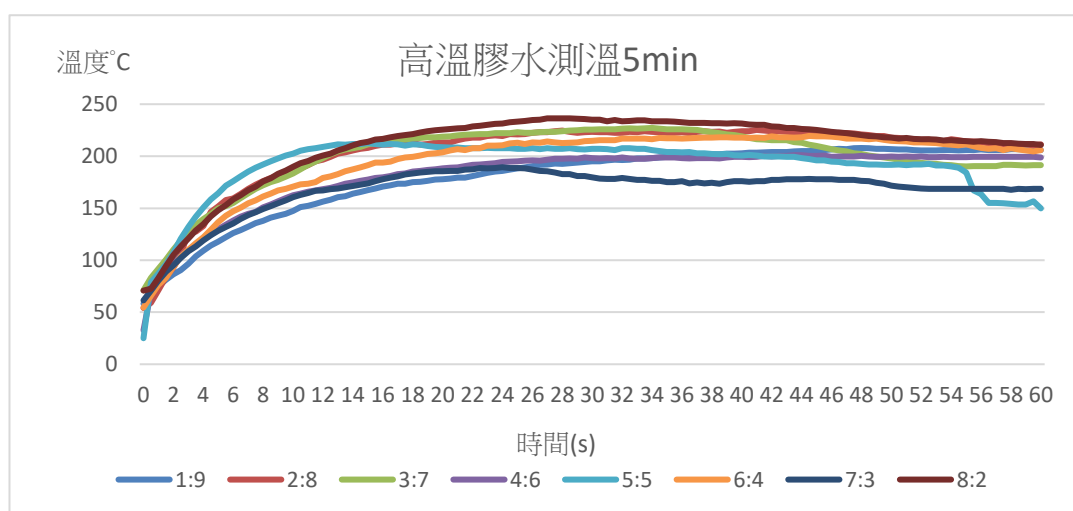


圖 4 微波 5min 不同高溫膠水對發熱效率影響折線圖

2-1 實驗結果：發熱效率由高至低為 8:2、3:7、2:8、6:4、5:5、1:9、4:6、7:3

2-2.第二次測溫(10 分鐘)：

表 17 微波大火持續 10 分鐘測量溫度(°C)數據(粗體的為測得之最高溫)

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1:9	68.4	143.9	192.1	227.2	247.2	261.1	273.4	287.6	301.1	312.6	322.6
2:8	33.9	111.8	188.7	242.6	288.4	311.4	329.4	344.4	351.7	355.9	358.2
3:7	79.5	193.6	256.8	303.8	339.1	363.3	381.3	392.4	401.2	408.1	413.1
4:6	35.5	101.7	182.1	241.1	281.5	314.1	339.4	358.2	370.5	379.7	385.4
5:5	100.2	192.5	265.7	318.3	356.3	382	402.3	413.3	423.7	427.9	425.2
6:4	74.6	186.7	255.3	301.1	333.3	362.4	381.2	393.5	403.4	406.8	407.6
7:3	140.4	215.6	262.2	296.8	323.3	340.6	355.5	365.9	373.9	379.7	382.4
8:2	55.6	160.5	224.5	279.4	311.4	336.8	358.2	374.7	386.2	397.3	402.6
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
1:9	329.5	337.1	336.4	334.8	332.1	328.7	327.9	324.5	322.6	321.8	321.4
2:8	367.8	367.8	372.8	373.5	376.2	375.1	370.5	336.7	363.3	357.1	352.1
3:7	415.8	414.6	412	409.3	410	409.3	410	408.1	403.1	397	391
4:6	385.2	387	386.2	385.4	382.7	379.7	377	374.7	370.5	366.3	361
5:5	425.2	423.3	421.4	419.8	418.7	416.4	413.3	411.1	408.4	405.7	402.6
6:4	408.4	406.5	404.2	401.5	397.7	393.1	390.8	37	385.4	383.1	380.8
7:3	385.4	386.6	381.2	378.1	372.8	369.7	363.2	358.2	353.6	347.5	342.1
8:2	406.8	409.9	410.3	409.9	408.4	407.2	405.3	402.3	400.7	397.7	393.1
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
1:9	321.8	321.8	321.4	322.6	322.6	317.6	312.2	304.1	300.7		
2:8	351.7	348.4	344	338.3	334.4	328.7	321.4	314.5	308.7		
3:7	390.1	389	386.3	383.2	377.5	369	361.4	356.4	353.3		
4:6	358.6	356.3	355.2	352.1	348.6	345.2	343.3	341.7	336.8		
5:5	397.7	393.1	390	386.6	382.7	378.1	371.6	365.5	360.1		
6:4	377	373.9	370.9	367.4	364	360.9	357.8	354	350.9		
7:3	340.2	337.1	330.2	342.8	321.8	316.4	310.6	308	302.2		
8:2	390.4	387.3	383.9	379.3	376.2	372	367.8	363.8	360.5		

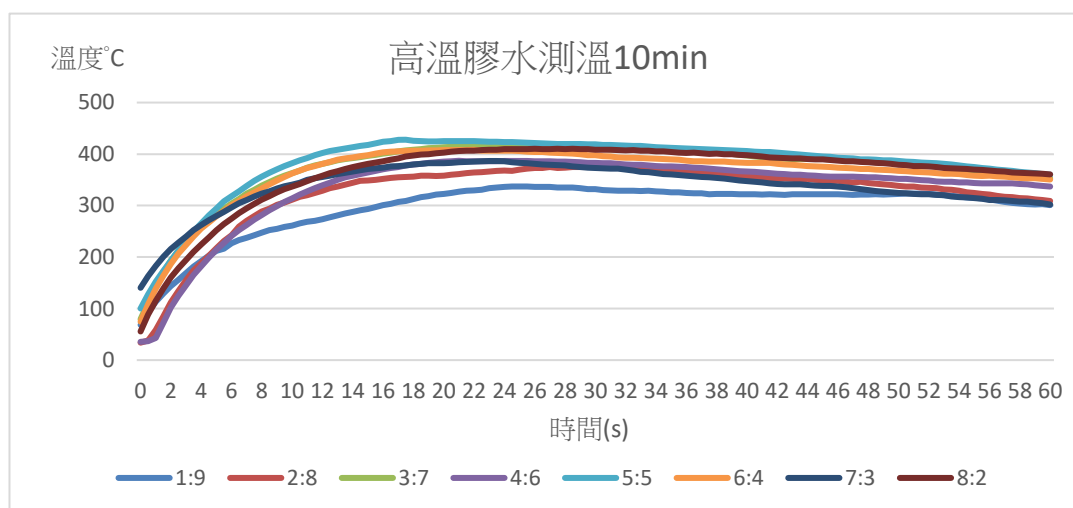


圖 6 微波 10min 不同高溫膠水對發熱效率影響折線圖

2-2 實驗結果：發熱效率由高至低為 5:5、3:7、8:2、6:4、4:6、7:3、2:8、1:9

2-3.第三次測溫(15 分鐘)：使用已剝落試片繼續測試

表 18 微波大火持續 15 分鐘測量溫度(°C)數據(粗體的為測得之最高溫)

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1:9	252.2	326	378.5	421.8	465.7	497	514.9	525.6	528.2	526.7	525.6
2:8	58.3	212.2	311.8	374.7	420.6	454.2	479.1	498.5	510.7	516.8	517.2
3:7	70.8	201.6	346.8	453	522.9	559.8	591.1	612.4	625.3	631.3	633.6
4:6	37.8	232.2	355.2	434	486.3	520.6	541.9	554.9	561.3	561.7	558.3
5:5	116.4	287.2	398	471.4	521.4	550.7	567	574.3	577.3	578.4	578.4
6:4	30.4	170.1	351.3	460.4	537	583.4	607.7	617.5	625.1	622.5	617.5
7:3	339.8	450.4	520.6	557.2	580.3	591	593.3	591.3	586.8	575.8	566.6
8:2	36.6	303	457.3	540.8	583.4	610	627.8	613	597.8	595.9	595.9
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
1:9	525.6	520.2	510.7	501.6	487.8	479.1	470.7	463.4	458.4	453.1	450.8
2:8	518.3	518.3	515.6	512.2	507.3	501.9	498.1	491.3	484.4	479.4	473.3
3:7	630.6	625.3	620.3	615	609.3	603.2	596.4	589.9	583.1	573.5	562.5
4:6	554.9	546.9	537.4	529.7	522.9	515.6	507.7	501.6	491.3	482.1	471.4
5:5	575.4	569.7	562.8	554.9	545.7	532	522.9	518.7	512.2	506.1	497.7
6:4	614.1	606.9	602.4	594.4	586	576.9	568.6	561	525.2	543.5	534.3
7:3	552.6	539.3	528.6	519.5	511.8	507.3	503.5	498.5	491.6	483.6	473
8:2	597.1	596.7	590.2	583.4	578.1	572	504.4	556.4	546.1	538.5	530.5
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
1:9	447.4	445.5	440.5	435.9	434.8	433.6	430.2	422.9	417.9		
2:8	467.2	461.5	455.4	448.9	442.8	438.2	433.2	429.8	426		
3:7	553.8	544.6	541.6	537.7	532.8	526.8	523.6	513.3	505.7		
4:6	463.4	456.2	447.4	440.9	437.4	429	421	414.9	441.1		
5:5	488.2	479.8	472.6	466.8	464.2	458.8	450	445.5	437.1		
6:4	525.6	516.4	506.1	495.4	488.2	482.1	475.3	466.8	458.8		
7:3	466.8	461.5	456.2	452.7	448.1	439	430.6	418.3	412.2		
8:2	525.2	518.3	508	503.5	498.5	494.7	489	481.7	476.8		

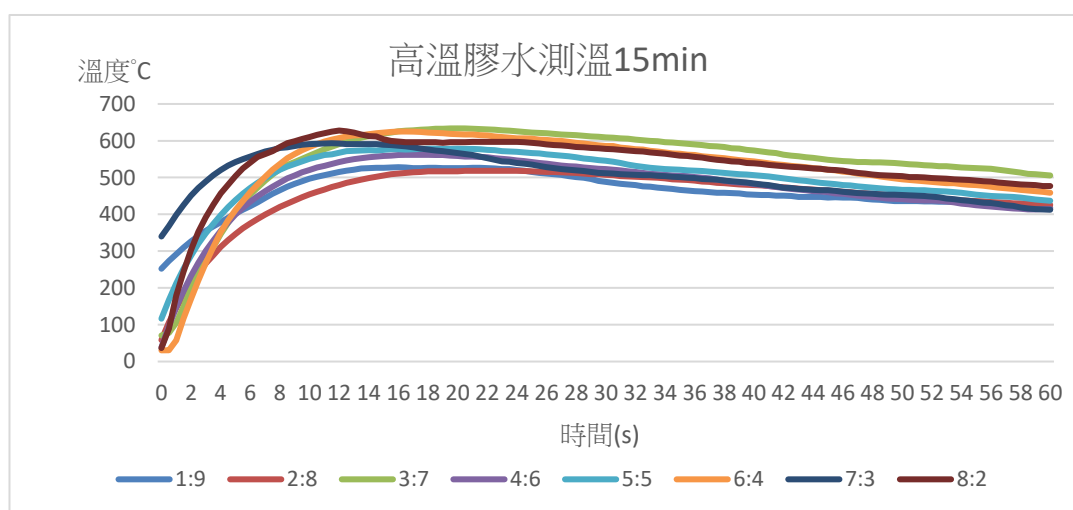


圖 7 微波 15min 不同高溫膠水對發熱效率影響折線圖

2-4 實驗結果：發熱效率由高至低為 3:7、8:2、6:4、7:3、5:5、4:6、1:9、2:8

2-5.加熱試片 10 分鐘：測試是否可重新燒結上去

因在 2-2 的實驗中，我們發現使用噴灑的方式會使碳化矽塗層附著性不佳造成整個塗層剝落，因此測試是否能透過重新放置以及重新上膠後黏貼回去。



圖 7 塗層剝落

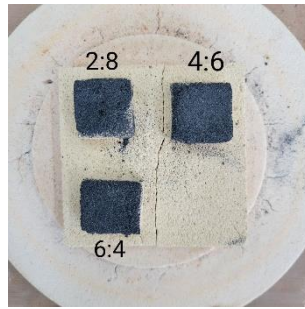


圖 8 加熱前

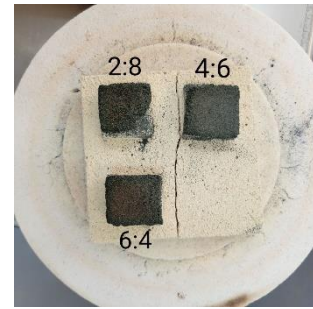


圖 9 冷卻後

2-5 實驗結果：依然為分離狀態

2-6. 加熱試片 15 分鐘：測試用噴塗的方式的是否會使得碳化矽層分離

表 19 測試用噴塗的方式的是否會使得碳化矽層分離實驗操作表

	膠水比例	碳化矽厚度	顆粒大小	上膠方式
操作	2:8	3.08mm	0:1	將耐火磚上直接噴灑膠水，沾取碳化矽，重複噴灑與沾取至 3.08mm

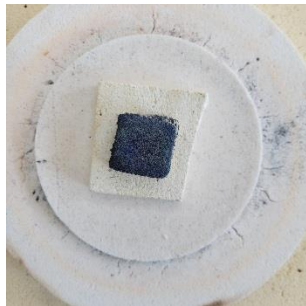


圖 10 加熱前

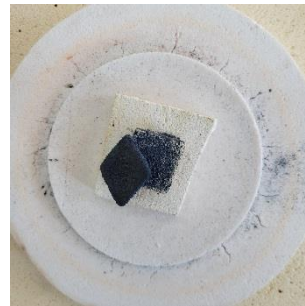


圖 11 冷卻後依然未附著上去

2-6 實驗結果：用噴塗的方式上膠燒製時仍會分離

結論：

1. 上膠的方式不可以單純浸泡或是單純噴灑，需採用半泡的方式，膠水的量需足夠但不能充滿耐火磚的整個孔隙。
2. 高溫膠水的選擇為 3:7 為往後製作自製集熱盒之高溫膠水比例。

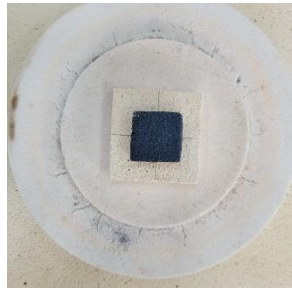
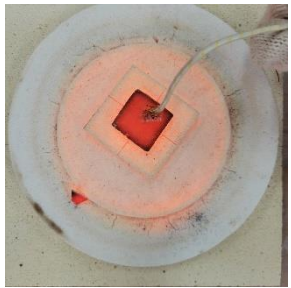
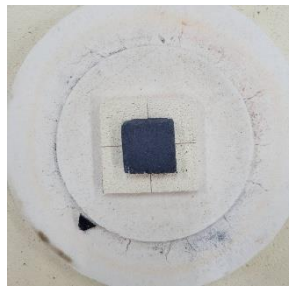
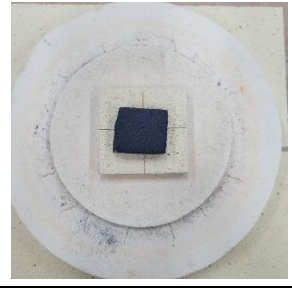
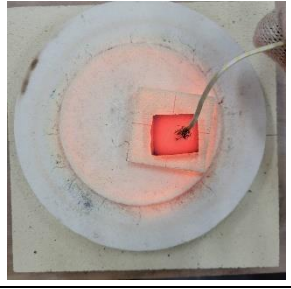
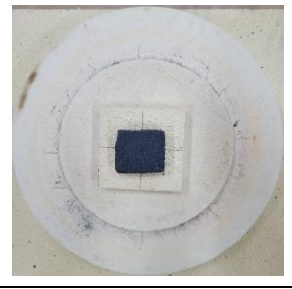
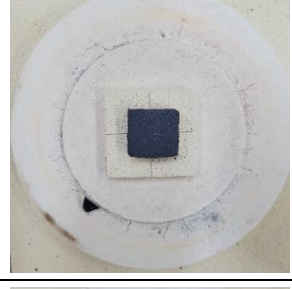
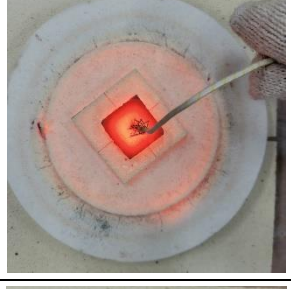
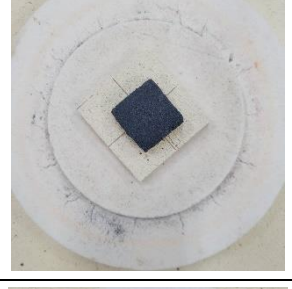
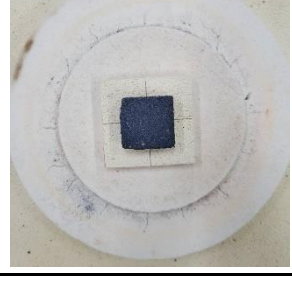
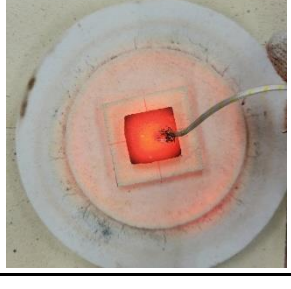
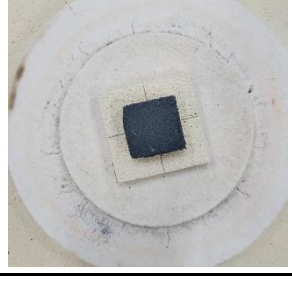
三、碳化矽層數集熱實驗：找出發熱效率最好之碳化矽厚度

表 20 找出發熱效率最好之碳化矽厚度實驗操作表

操作	膠水比例	厚度	顆粒大小	上膠方式
	3:7	0.72mm (2 層) 1.15mm (4 層) 1.67mm (6 層) 2.34mm (8 層) 3.02mm (10 層) 3.99 mm (12 層) 4.93mm (14 層) 6.58 mm (16 層)	0:1 (皆為 180 目碳化矽)	將耐火磚一半部分浸泡膠水 10 秒後取出，沾取碳化矽，再噴灑同比例之膠水，重複噴灑與沾取至實驗厚度

實驗操作方式如下表，使用微波大火分別持續 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘，操作方式如下表 21。

表 21 找出發熱效率最好之碳化矽厚度實驗操作表

碳化矽厚度	加熱前照片	測溫(持續 60 秒) 照片	冷卻後(10 分鐘) 照片
0.72mm			
1.67mm			
3.02mm			
4.93mm			

3-1.第一次測溫(5 分鐘)

表 22 不同厚度微波大火持續 5 分鐘測量溫度(°C)數據(粗體的為測得之最高溫)

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0.72mm	64.6	85.2	101.5	108.1	115.9	122.1	127.5	131.4	135.7	139.2	143.4
1.15mm	46.7	82	100.6	112.5	122.6	132.7	140.8	145.4	149.3	151.6	153.5
1.67mm	37	81.7	107.7	124.8	138	149.3	157.4	164.4	172.1	177.9	182.2
2.34mm	37	86.6	120.3	144.6	164	178.2	189	197.1	204.1	210.3	214.5
3.02mm	58.7	96	123.2	141.1	153.9	164.4	172.9	186.2	189.9	196.1	201.2
3.99mm	42	82	110.6	133	149.3	164	178.6	191	197.1	201	204
4.93mm	13.2	141.1	159	167.5	176.4	184.5	188.4	191.5	193.4	195.3	195.3
6.58mm	40.9	83.9	114.5	136.1	152.4	164	173.2	181.7	190.2	194.4	199.4
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0.72mm	146.4	150.8	153.5	156.2	158.2	160.5	161.7	162.4	163.6	165.1	165.1
1.15mm	154.7	157.4	159.3	160.9	161.3	161.3	162.4	161.3	160.9	158.9	158.2
1.67mm	185.3	186.1	186.5	188.8	192.6	194.6	195	196.5	198.8	200	199.6
2.34mm	218	219.9	219.5	220.7	219.1	219.5	218.7	218.3	218.3	218	216.4
3.02mm	206.6	210.8	214.3	217	218.8	219.3	218.6	216.6	215.1	212	208.9
3.99mm	208.3	212.2	214.9	216	219.9	221	221.4	222.2	220.7	220.3	220.7
4.93mm	195.3	196.5	196.1	195.8	195.8	199.2	201.9	203.1	204.3	204.3	201.6
6.58mm	203.7	206	207.6	211	213.7	215.6	217.6	216.8	218	217.2	217.6
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
0.72mm	164	164	164.8	166.7	164.4	162.4	160.5	156.6	156.2		
1.15mm	157.4	157.4	156.6	157.4	157.8	156.2	154.7	154.3	153.1		
1.67mm	198.1	199.2	200.4	201.1	200	198.1	193.8	189.5	187.2		
2.34mm	214.9	214.1	212.2	210.3	207.6	205.6	204.9	202.5	201		
3.02mm	207	204.3	203.5	202.7	202.7	201.9	200.8	200.4	200.4		
3.99mm	219.5	216.4	213.3	210.3	207.6	204.9	202.5	201	200.2		
4.93mm	199.2	198.1	197.3	196.5	194.6	194.2	194.6	194.2	195.8		
6.58mm	216	214.9	213.3	212.9	213.3	213.3	210.3	206	201.8		

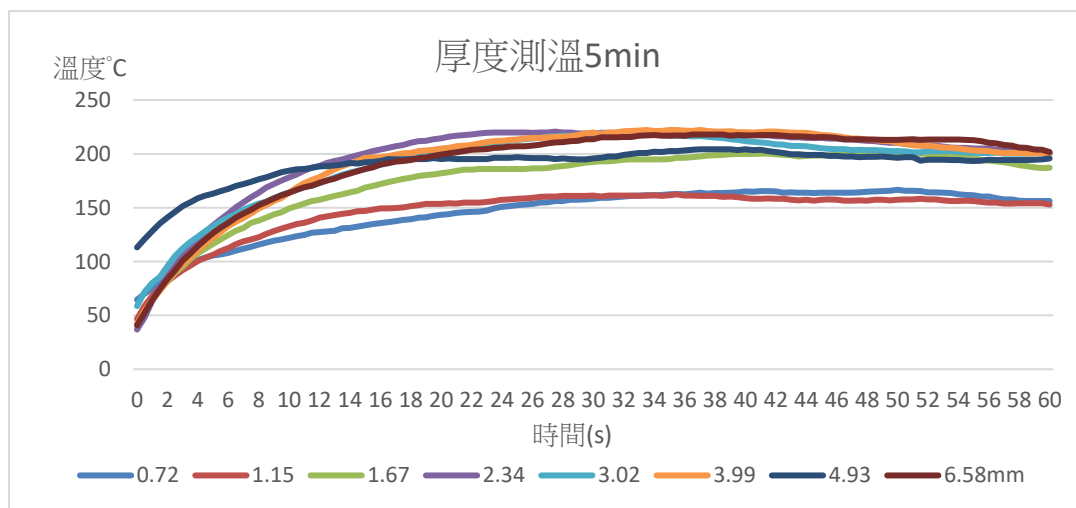


圖 8 微波 5 分鐘不同厚度碳化矽之溫度數據折線圖

3-1 實驗結果：溫度由高至低為 3.99 mm (12 層)、2.34mm (8 層)、3.02mm (10 層)、6.58 mm (16 層)、4.93mm (14 層)、1.67mm (6 層)、0.72mm (2 層)、1.15mm (4 層)

3-2.第二次測溫(10 分鐘)

表 23 不同厚度微波大火持續 10 分鐘測量溫度(°C)數據(粗體的為測得之最高溫)

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0.72mm	30.5	136.7	190.2	228.2	252.1	266.8	273.4	281.1	281.9	281.1	282.7
1.15mm	32.7	130.3	188.3	229.5	259.5	281.8	299.5	312.9	321.8	329.1	336.4
1.67mm	29	188.3	303.9	383.2	442	469.6	482.6	487.2	494.5	501	502.9
2.34mm	29.6	151.2	221.4	268.8	304.5	326.8	343.3	351.7	358.6	367	372
3.02mm	29	61.7	238.2	347.4	418.6	458.5	474.6	486.1	488	479.5	478.4
3.99mm	38.2	52.5	136.9	219.5	288	336	370.9	398.8	416	429	435.1
4.93mm	29.3	181.7	308.5	377.1	424.7	448.9	458.1	462.3	464.2	468.4	473.4
6.58mm	40.9	133	214.5	270.3	310.3	344.4	364.7	382	389.6	393.1	393.1
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0.72mm	282.7	285	282.7	281.1	270.1	260.3	256	255.6	263	269.5	273.4
1.15mm	342.1	346	347.1	345.6	339.8	333.3	331	327.6	324.1	321	319.5
1.67mm	504.1	500.6	497.6	495.2	490.3	487.2	482.6	478.4	468.4	460	455
2.34mm	372.8	369	365.9	362.8	357.5	353.6	346.7	342.5	337.9	334.4	328.7
3.02mm	483	478.8	467.7	458.1	451.2	445.1	445.4	442.7	440.8	436.6	428.5
3.99mm	437.8	436.7	436.3	434.4	431.7	426.7	423.7	418.7	412.6	407.2	400.3
4.93mm	469.2	461.9	452.7	449.3	446.2	440.8	434.7	435.1	432.4	429.3	421.3
6.58mm	396.1	395.4	395.4	387.3	383.9	380	375.1	365.5	362.4	360.5	355.2
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
0.72mm	275.3	276.9	274.9	271.1	266	261	260.3	259.5	257.2		
1.15mm	317.6	316.8	314.5	313.4	310.6	309.5	306	301.8	298		
1.67mm	451.2	445.8	440.1	435.1	429.3	425.1	416.9	407.4	395.5		
2.34mm	322.2	317.9	314.9	310.6	306	304.1	294.9	284.5	288		
3.02mm	419.7	413.2	405.1	402.8	398.6	389	382.4	376.3	370.1		
3.99mm	395	391.9	387.7	383.1	377.8	373.9	368.7	365.1	361.3		
4.93mm	416.6	415.9	414.3	405.9	397.4	387.1	380.1	375.1	372.1		
6.58mm	343.3	335.6	328.7	324.5	322.6	321	318.8	315.3	311.8		

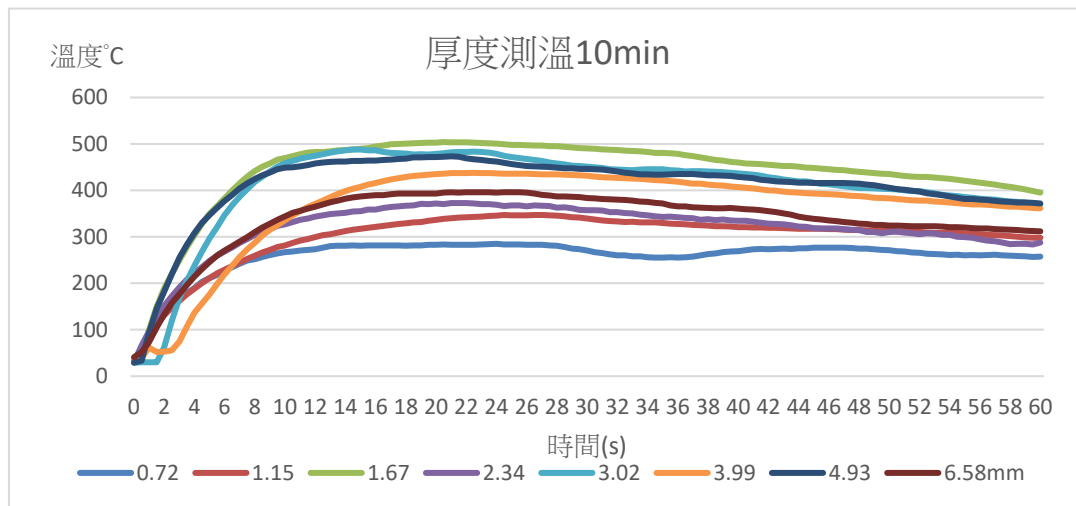


圖 9 10min 不同厚度碳化矽之溫度折線圖

3-2 實驗結果：溫度由高至低為 1.67mm (6 層)、3.02mm (10 層)、4.93mm (14 層)、3.99 mm (12 層)、6.58 mm (16 層)、2.34mm (8 層)、1.15mm (4 層)、0.72mm (2 層)

3-3.第三次測溫(15 分鐘)

表 24 不同厚度微波大火持續 15 分鐘測量溫度(°C)數據(粗體的為測得之最高溫)

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0.72mm	33.6	172	260.6	318.1	347.8	347.8	388.2	397.8	411.6	421.6	428.5
1.15mm	31.6	81.2	198.7	264.5	307.6	341	359.8	376.2	394.2	408.4	414.9
1.67mm	59.4	219.7	513.8	385.9	428.9	451.6	466.1	482.6	486.5	481.5	478
2.34mm	39.3	226.4	334.8	405.3	454.2	485.9	504.2	515.3	520.6	514.9	509.9
3.02mm	27	42.2	247.9	372.1	450.8	504.1	358.1	559.1	574.4	571.7	569
3.99mm	44.8	236.8	355.2	432.8	487.8	522.9	538.1	554.9	568.6	573.5	570.5
4.93mm	58.2	176.3	317	409.7	464.2	481.5	467.7	496.4	510.6	509.4	512.1
6.58mm	38.9	204.9	325.6	407.2	464.5	503.1	528.6	543.1	548.4	551.1	552.2
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0.72mm	433.9	438.5	440.1	433.5	430.9	433.2	434.7	433.9	435.1	435.1	433.5
1.15mm	421.8	422.5	419.1	419.1	416	412.6	411.8	408.8	400.3	390	382.4
1.67mm	469.2	459.2	447.7	443.1	443.9	442.4	443.1	448.1	447	440.8	437
2.34mm	505.4	503.1	498.5	497	493.2	487.4	482.5	477.1	471	462.7	456.2
3.02mm	565.6	562.6	554.2	546.5	536.9	529.3	524.3	519	514.8	507.5	499.1
3.99mm	564.8	557.9	550.7	547.3	540	532	521.7	513.8	501.9	494.3	486.3
4.93mm	508.3	507.1	508.3	505.2	504.1	503.3	498.3	494.5	487.6	475.7	464.2
6.58mm	549.9	544.2	535.8	526.3	522.5	518.7	514.5	506.5	500	494.3	483.3
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
0.72mm	429.7	428.2	426.3	425.1	419.7	415.1	407.1	403.2	397.8		
1.15mm	373.5	364.3	356.7	349	344	339.8	335.6	329.8	323.7		
1.67mm	430.9	427	420.1	411.3	402.8	395.9	392.1	388.2	383.2		
2.34mm	448.9	434.8	424.8	414.9	407.6	398.8	388.9	381.2	379.3		
3.02mm	489.1	481.9	472.7	467.3	463.1	460	457.3	450	445.8		
3.99mm	468.4	454.6	448.9	442.4	435.9	429.8	425.2	419.8	413		
4.93mm	458.1	450.4	442.4	437.8	429.3	420.5	414	405.9	392.8		
6.58mm	474.5	465.3	456.5	450	446.6	442	437.1	432.1	426		

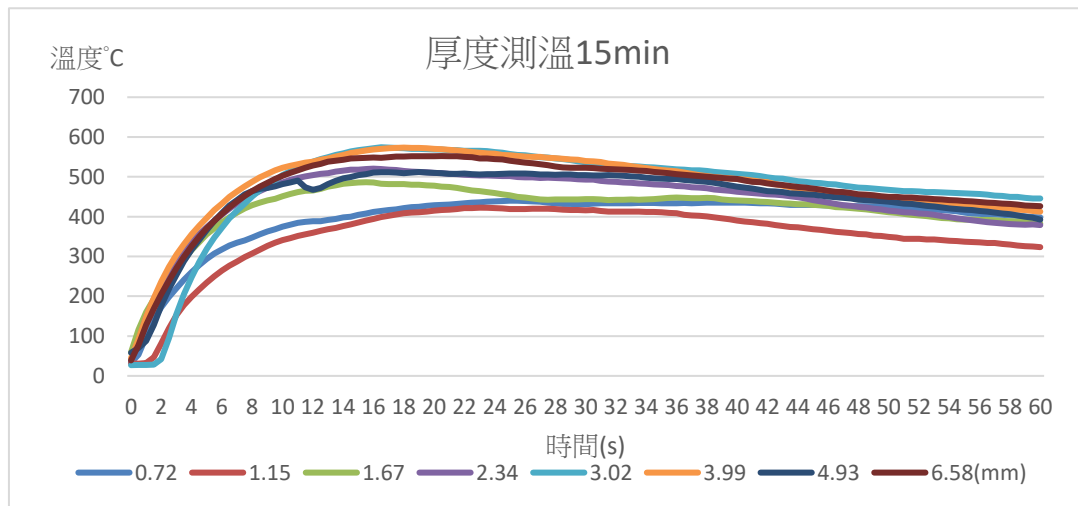


圖 10 15min 不同厚度碳化矽之溫度比較折線圖

3-3 實驗結果：溫度由高至低為 3.02mm (10 層)、3.99 mm (12 層)、6.58 mm (16 層)、2.34mm (8 層)、4.93mm (14 層)、1.67mm (6 層)、0.72mm (2 層)、1.15mm (4 層)

結論：內層塗料的厚度選擇 3.02mm (10 層)

四、碳化矽級配實驗：混合不同顆粒大小之碳化矽找出發熱效率最好的碳化矽顆粒比

碳化矽顯微鏡觀察比較表

目數	180 目 (左圖)	320 目 (右圖)
放大倍率	100	100
測量大小	100 微米	60 微米

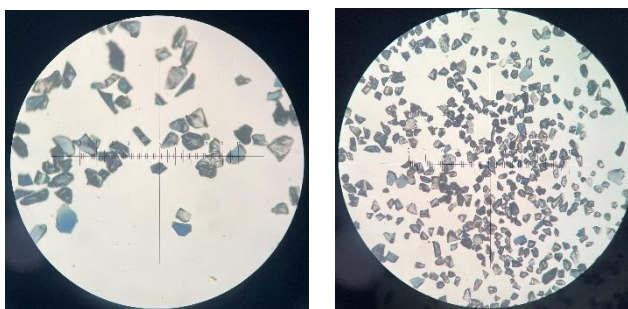


表 25 碳化矽級配實驗操作表

	膠水比例	碳化矽塗裝厚度	碳化矽顆粒級配	上膠方式
操作	3:7	3.02mm (10 層)	0:1 1:3 1:1 3:1 1:0	將耐火磚一半部分浸泡膠水 10 秒後取出，沾取碳化矽，再噴灑同比例之膠水，重複噴灑與沾取至實驗厚度

表 26 不同級配微波大火持續 10 分鐘測量溫度(°C)數據(粗體的為測得之最高溫)

級配時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0:1	63.4	93	114.4	129.9	141.1	153.1	160.9	165.9	171	175.6	179.5
1:3	23.5	38.7	76.9	102.5	120.8	135.9	150.7	160	166.6	173.9	179
1:1	60.5	101.8	129.3	151.1	165.4	177.8	189.1	202.2	210.7	217.7	222
3:1	61.3	99.4	123.1	139.4	155	167	177.8	189.5	197.6	206.1	211.1
1:0	25.8	67.5	99.8	116.9	132.4	146.8	159.6	170.5	177.1	181.7	186.7
級配時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0:1	182.2	184.9	185.7	187.2	187.2	187.6	188.8	189.5	189.9	190.3	191.1
1:3	182.1	184.8	186.7	188.7	187.5	184.4	181.7	180.2	179.4	179	180.5
1:1	222	220.8	220.8	223.5	222	222	220.4	218.9	219.3	221.2	220.8
3:1	216.2	220	223.9	227	229.3	231.3	230.9	231.6	23.9	221.6	220
1:0	189.1	191	192.9	195.7	197.2	198.4	200.7	202.6	203.8	201.1	200.7
級配時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
0:1	191.5	192.3	192.1	191.5	190.3	187.6	184.1	179.9	178.3		
1:3	180.5	181.3	181.3	182.1	182.5	183.6	185.2	185.6	186		
1:1	219.3	218.1	218.9	219.3	219.7	220.4	219.7	220	221.2		
3:1	219.7	218.9	216.2	213.1	211.1	209.6	209.6	208.4	205.3		
1:0	201.1	201.1	199.9	196.4	192.9	186.7	183.2	180.5	177.8		

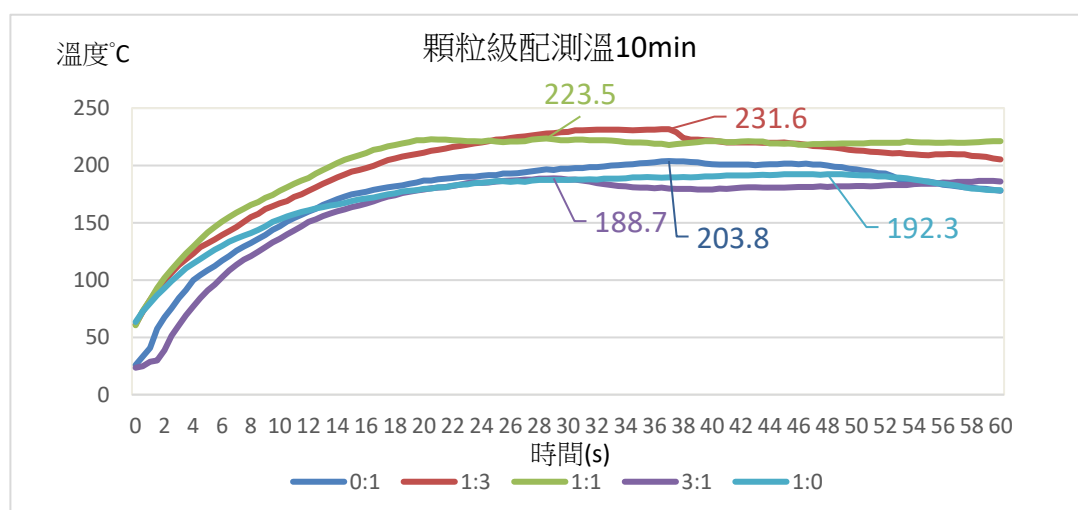


圖 11 10min 不同顆粒大小對發熱效率影響比較折線圖

小結：溫度由高至低依序為 1:3、1:1、0:1、1:0、3:1

結論：碳化矽顆粒大小級配的最佳選擇為 1:3(320 目碳化矽: 180 目碳化矽)。

五、以玻璃纖維嘗試自製集熱盒：設計以玻璃纖維板構成集熱盒，內層塗以集熱材料，尺寸圖及設計圖如下圖 12、圖 13。

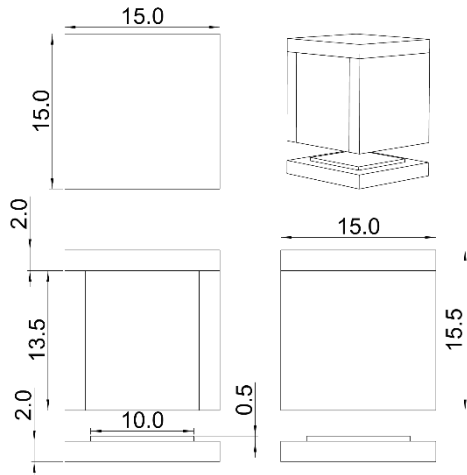


圖 12 集熱盒尺寸圖

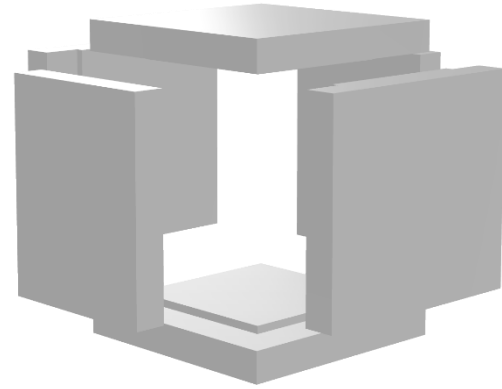


圖 13 集熱盒設計圖

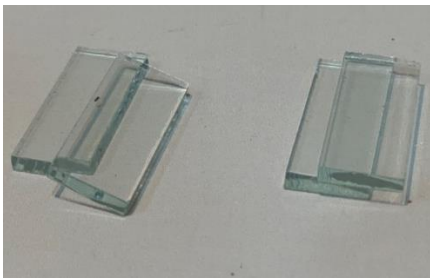

表 27 玻璃纖維嘗試自製集熱盒實驗操作表

步驟	準備一片 25mm 厚的緻密玻璃纖維	標記尺寸後粗切割	標記切割尺寸
照片			
步驟	各組建完成	使用高溫膠水黏合	碳化矽塗層製作
照片			

六、使用自製集熱盒及家用微波爐熔融兩片玻璃測試

此測試的目的為確認自製集熱盒可以在短時間內升至高溫且可達到玻璃的軟化點 800°C，以利後續實驗的進行。在燒製 12 分鐘後可明顯看見自製集熱盒上孔透出紅光，掀開上蓋可看到兩片玻璃已熔融在一起，圖 28 為冷卻後取出的結果。

表 28 使用自製集熱盒及家用微波爐熔融兩片玻璃實驗操作表

步驟	燒製前	燒製完
照片		
備註	兩片玻璃相疊	兩片玻璃已熔融

結論：1.自製集熱盒可在 12 分鐘之時間升至 800°C 高溫

2.自製集熱盒可燒至 800°C 以上

七、使用自製集熱盒及家用微波爐進行陶瓷 900°C 素燒實驗

陶藝作品在入窯釉燒之前，必須先經素燒才可上釉，素燒的溫度與玻璃軟化點相似，約為 800~900°C，但陶瓷不像玻璃具延展性，且在素燒的過程中，陶瓷的穩定性較釉燒過程低，因此本實驗是為了找出陶瓷可承受的素燒火力調控。

7-1. 第一次測試


表 29 自製集熱盒及家用微波爐進行陶瓷 900°C 素燒第一次實驗操作表

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	未完全烘乾	3 小塊耐火磚	小火 76 秒	76 秒 炸裂	 整塊試片炸裂

7-1 實驗結果：小火火力對素燒試片太強，陶土試片內有水分被快速加熱而整塊試片炸裂，下一次試驗需調低初始微波火力。

7-2. 第二次測試

表 30 自製集熱盒及家用微波爐進行陶瓷 900°C 素燒第二次實驗操作表

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	未完全烘乾	3 小塊耐火磚	微火 4 分 58 秒	4 分 58 秒 裂開	 整塊試片炸裂

7-2 實驗結果：升溫過快

7-3.第三次測試


表 31 自製集熱盒及家用微波爐進行陶瓷 900°C素燒第三次實驗操作表

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	以自製集熱盒烘乾	3 小塊耐火磚	微火 4:00 風乾 4:00 重複 2 次至 16 分 再微火 4:00 至 20 分時轉解凍 解凍 1:17 共 21:17	21 分 17 秒 裂開	 整塊試片炸裂

7-3 實驗結果：與 7-1、7-2 實驗結果一樣

7-4.第四次測試

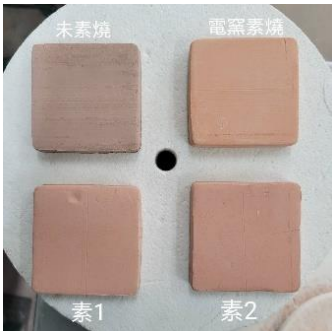
表 32 自製集熱盒及家用微波爐進行陶瓷 900°C素燒第四次實驗操作表

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	靜置通風完全陰乾	3 小塊耐火磚	從微火開始到中火都是一小格三分鐘到中火時為 24 分接著中火到強火每一小格為 2 分鐘（最後一格我們直接轉強火）最終時間為 32 分鐘	成功	 試片完好

7-4 實驗結果：微波加熱自製集熱盒可進行素燒

7-5.第五次測試：縮短素燒時間

表 33 自製集熱盒及家用微波爐進行陶瓷 900°C素燒第五次實驗操作表

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	靜置通風完全陰乾	3 小塊耐火磚	從微火到強火每兩分鐘轉一格共 24 分	成功	 試片完好

7-5 實驗結果：素燒時間可縮短至 24 分

八、使用自製集熱盒及家用微波爐陶瓷 1230°C 釉燒實驗

釉燒實驗一：釉燒陶土試片(5 號釉)

8-1. 第一次測試：上釉後未烘乾就入自製集熱盒測試


表 34 自製集熱盒及家用微波爐陶瓷 1230°C 釉燒第一次實驗表

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	否	整塊耐火磚	大火	2 分 27 秒 裂開	 上釉部分裂開

8-1 實驗結果：要自然烘乾釉藥水分後才能入自製集熱盒測試

8-2. 第二次測試：氣溫 19°C 自然陰乾 2 小時

表 35 自製集熱盒及家用微波爐陶瓷 1230°C 釉燒第二次實驗表

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	 陰乾 2 小時	整塊耐火磚	小火 1:01 強火 2:23	3:24 裂開	 整塊試片炸裂

8-2 實驗結果：升溫過快導致試片炸裂



8-3. 第三次測試：火力慢慢升高

由於前兩次測試升溫過快導致試片炸裂，因此此次測試我們在微波爐的火力調節鈕上標上刻度，如圖 14，每兩分鐘調強一格，以測試慢慢升溫是否可燒結成功。

圖 14 微波火力刻度標示





表 36 自製集熱盒及家用微波爐陶瓷 1230°C 釉燒第三次實驗表

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	 烘乾 1 小時	整塊耐火磚	小火 4:00 每 2 分鐘 調強一格 至 17 分鐘 時強火 強火 8 分 鐘共 25 分 鐘	成功	 受熱不均導致微彎曲

8-3 實驗結果：試片下不能墊整塊耐火磚

8-4.第四次測試：將整塊耐火磚改為三小塊耐火磚墊於試片角落



表 37 自製集熱盒及家用微波爐陶瓷 1230°C 釉燒第四次實驗表

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	 烘乾 1 小時	3 小塊耐火磚	小火 4:00 每 2 分鐘 調強至 17 分鐘時強 火 8 分鐘 共 25 分 鐘	成功	 受熱均勻無彎曲

8-4 實驗結果：將中間架空燒製可使試片受熱均勻

8-5.第五次測試：將耐火磚改為整塊碳化矽板



表 38 自製集熱盒及家用微波爐陶瓷 1230°C 釉燒第五次實驗表

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	 烘乾 1 小時	整塊碳化矽板	小火 4:00 每 2 分鐘 調強一點 至 17 分鐘 時強火 強火 8 分 鐘共 25 分 鐘	失敗	 試片燒結程度極差

8-5 實驗結果：碳化矽板不可作為隔熱墊料

8-6.第六次測試：三小塊耐火磚第二次測試

表 39 自製集熱盒及家用微波爐陶瓷 1230°C 釉燒第六次實驗表

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	 烘乾 1 小時	3 小塊耐火磚	小火 4:00 每 2 分鐘調 強一點 至 17 分鐘 時強火 強火 8 分鐘 共 25 分鐘	成功	 受熱均勻無彎曲 燒結程度更好

8-7.第七次測試：增加 90 秒燒製時間

表 40 燒製時間為 26.5 分鐘燒製結果表



	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	 烘乾 1 小時	3 小塊 耐火磚	小火 4:00 每 2 分鐘調 強一點 至 17 分鐘 時強火 強火 9:30 共 26:30	成功	 差異不大

8-7 實驗結果：加 90 秒差異並不顯著

8-8.釉燒實驗二：釉燒瓷土試片(5 號釉)

陶土與瓷土有許多相異之處，且瓷土燒結的溫度較陶土的高，因此要燒製成功的瓷土試片，需將溫度再提高，此次實驗的目的即是測試以集熱盒是否可使瓷土燒結。

表 41 燒製時間為 26.5 分鐘瓷土試片燒製結果表

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	 烘乾 1 小時	3 小塊 耐火磚	小火 4:00 每 2 分鐘 調強一格 至 17 分 鐘時強火 強火 9:30 共 26:30	成功	 表面釉熔 且試片有瓷化

8-8 實驗結果：微波加熱自製集熱盒可燒製瓷土

8-9.釉燒實驗三：釉燒陶、瓷土試片(14 號釉)

表 42 燒製時間為 26.5 分鐘瓷土試片燒製結果表(14 號釉)

	烘乾	隔熱墊料	火力調控	結果	附註
操作	烘乾 1 小時	3 小塊 耐火磚	小火 4:00 每 2 分鐘調強一格 至 17 分鐘時強火 強火 9:30 共 26:30	成功	釉有熔 且試片有瓷化

下圖為不同窯爐及試片種類燒製後的結果圖片



圖 15 電窯燒製陶土



圖 16 微波燒製陶土



圖 17 微波燒製瓷土

我們將使用家用微波爐燒製的試片與使用電窯 1230°C 燒製之試片釉面以洛氏硬度

儀測試硬度，以 HRB 100kg 載荷 1/16"直徑鋼球壓頭測試，方法如圖 18。使用初始試驗力 F_0 將壓頭垂直壓入試樣表面，然後施加主試驗力，使用總試驗力 F_0+F_1 壓入並保持一段時間後，撤除主試驗力，保持初始試驗力。施加主試驗力後與施加主試驗力前壓痕深度的差值與材料的洛氏硬度值有著線性關係，在洛氏硬度標尺上每 2 微米壓痕深度差值代表一個洛氏硬度刻度。

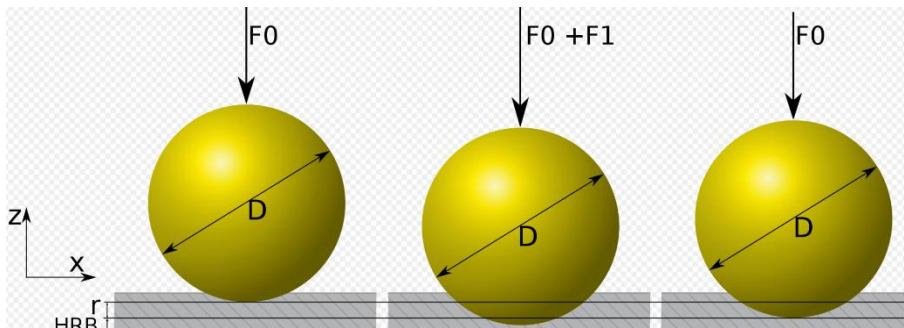


圖 18 洛氏硬度儀測試原理(資料來源:維基百科)



圖 19 洛氏硬度儀測試

測試結果如下表



表 43 洛氏硬度儀測試結果表

燒製方式	電窯試片 (14 號釉瓷土)	微波爐試片 (14 號釉瓷土)	電窯試片 (5 號釉陶土)	微波爐試片 (5 號釉陶土)
洛氏硬度	123.5	121.4	114.4	117.5
差異	無明顯差異		無明顯差異	

8-10.使用家用微波爐及自製集熱盒燒製作品實驗

我們使用微波爐燒製自行製作的陶藝作品杯子，放入自製集熱盒內燒製結果與電窯燒製的相同大小杯子作品如下表 44，外觀上看起來無明顯差異。

表 44 使用家用微波爐與傳統電窯燒製陶藝作品差異比較表

燒製方式	傳統電窯 1230°C 燒製	微波爐燒製
燒製完成照片		
差異	兩者外觀上無明顯差異	

伍、討論

- 一、此研究採用的微波吸收材料為碳化矽粉末，在陶藝教室內為配釉及研磨作品之材料，但其使用塗裝方式黏於集熱盒內部，塗裝技術好壞會引響其使用壽命。
- 二、此研究採用矽酸鈉及水的溶液進行微波吸收材料與玻璃纖維板之間的黏著劑，因高溫玻璃纖維板遇水會緊縮而使厚度減少，塗裝時速度要掌握得宜。
- 三、家用微波爐內體積約為 20L，扣除集熱盒體積及必要散熱空間，一次約能燒製 10cm^3 大小的作品，若需燒製大型陶藝作品，技術上仍須突破。
- 四、使用家用微波爐燒製陶藝作品皆須完全陰乾，因微波加熱快速，若無完全陰乾則作品燒製過程會產生爆裂而損壞。
- 五、傳統電窯燒製過程中可用白金測溫棒進行連續性測溫，本研究使用家用微波爐燒製過程中無法使用白金測溫棒或電熱偶置於微波爐內測量溫度，只能暫停加熱取出集熱盒測溫，若能發展用於微波爐加熱過程之連續測溫裝置，則能更精準燒製出美麗的陶瓷作品。

陸、結論

根據這研究目的及實驗調查發現，我們將結論列點整理如下：

- 一、用於家用微波爐的集熱盒材料的材質以玻璃纖維為主體，內層塗以集熱材料進行微波加熱；集熱材料方面，碳化矽顆粒大小級配的最佳選擇為 1:3(320 目碳化矽:180 目碳化矽)有最佳的吸熱效率，碳化矽的厚度以半浸泡的方式沾 3.02mm(10 層)最好。
- 二、用於家用微波爐的集熱盒材料的高溫黏著劑，以體積比 3:7 (矽酸鈉:水)為最佳配比。
- 三、使用家用微波爐燒製陶藝作品的素燒及釉燒的方法程序如下：
 1. 素燒：作品須靜置通風完全陰乾後，從微火到強火每兩分鐘轉一格共使用家用微波爐 24 分燒成，自然散熱 1 小時後便可取得作品。
 2. 釉燒：素燒作品上釉後，先烘乾 1 小時，小火 4:00 每 2 分鐘調強一格至 17 分鐘時強火，強火 9:30 共 26 分 30 秒完成，自然散熱 1.5 小時後便可取得作品。
- 四、使用家用微波爐燒製陶藝作品與傳統電窯的優劣比較整理成下表 45，使用家用微波爐以自製集熱盒燒製陶藝作品具有造價便宜、燒製時間極短、電費極省等優點，適合進一步推廣成為燒製陶瓷品的另一種方式。

表 45 使用家用微波爐燒製陶藝作品與傳統電窯的優劣比較表

說明比較	傳統電窯	使用家用微波爐	節省比例
作品素燒時間	480 分鐘(8 小時)	24 分鐘	95.00%
作品素燒電費	11 元/1000 cm^3	1.7 元/1000 cm^3	84.54%
作品釉燒時間	480 分鐘(8 小時)	26 分鐘 30 秒	94.47%
作品釉燒電費	18 元/1000 cm^3	1.9 元/1000 cm^3	89.44%
造價(台幣)	50000	3000 (微波爐 2000 元+集熱盒材料 1000)	94.00%
優點	作品以程式控溫、成品穩定	造價便宜、燒製時間極短、電費極省	
缺點	傳統電窯造價貴、燒製時間長、電費貴	作品測溫不易	

柒、參考文獻資料

Adi, W. A. , Yunasfi, Y., Mashadi, M., Winatapura, D. S. , Mulyawan, A., Sarwanto, Y., Gunanto, Y. E. , & Taryana, Y. (2019). Metamaterial: Smart Magnetic Material for Microwave Absorbing Material. In K. H. Yeap, & K. Hirasawa (Eds.), *Electromagnetic Fields and Waves*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84471>

Green, M. (2019, July). *Recent Progress of Nanomaterials for Microwave Absorption* .Sciencedirect.Com
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352847819300735>

Pozar, D. M. (2011). *Microwave engineering*. John wiley & sons.
https://books.google.com.tw/books?hl=zh-TW&lr=&id=_YEbGAXCcAMC&oi=fnd&pg=PA28&dq=microwave&ots=1VScjcAG9m&sig=CQYWzyAJgQxJ8rGwK8GAwoME8vc&redir_esc=y#v=onepage&q=microwave&f=false

Sögaard, C., Funehag, J. & Abbas, Z. Silica sol as grouting material: a physio-chemical analysis. *Nano Convergence* **5**, 6 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40580-018-0138-1>

Taylor, J. R., & Bull, A. C. (1986). *Ceramics glaze technology*.
<https://www.osti.gov/biblio/5531312>

Vollmer, M. (2004). Physics of the microwave oven. *Physics Education*, *39*(1), 74.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/39/1/006/meta>

【評語】 100035

1. 以家用微波爐及自製集熱盒燒製高溫陶瓷，具有造價便宜、燒製時間極短、電費極省等優點，是一個有趣又具實驗性的議題。
2. 實驗設計，逐步分析和探索系統性能，到最後測試，內容完整。
3. 工序之實驗設計與變量之掌握與優化，可進一步深入探討。
4. 燒結時間決定陶瓷品質，因此縮短燒結時間雖可提升便利性，所產生品質的差異也需要進一步評估。目前測得洛式硬度表現相仿是一個佐證，其他相關品質規格也建議一併評估和測試。
5. 在文創和體驗面，目前如鶯歌陶藝班多為DIY製作後，因燒結時間需求則多以數天到一週後寄送成品的方式進行。以目前微波方式，可課程後立即提供成品，具有優勢和推廣可行性。