

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學(二)科

第一名

052403

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

學校名稱：臺中市立大甲高級中等學校

作者： 高一 彭子瑜 高一 黎昱君 高一 楊仲宇	指導老師： 黃嘉男
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：微波、集熱盒、陶瓷燒成

得獎感言

回首「科展」來時路

在參賽的這一路上過關斬將到了全國科展，我們很高興能在 2022 全國科展中獲得工程學科（二）的全國第一名，當宣布得獎名單的時候，整個小組都激動不已，這一年的辛苦，在此刻充滿了成就感。

回顧起我們過去研究過程中的點點滴滴，想起我們會開始進行這項研究是因為我們三個人都是陶藝社的成員，製作陶藝作品的過程很有趣，但傳統電窯的燒製時間太長，要 2~3 天才能看到自己的成品，所以我們就想有沒有什麼辦法可以將作品燒快一點，我們想到平常在家使用微波爐加熱效率非常快，於是便使用家用微波爐來加熱，並以微波吸收材料為發熱體，製作集熱盒來去燒製陶藝作品。

經過文獻探討後，我們發現這是歷屆科展不曾做過的主題，且參考文獻也很少，是個很值得研究的新題目，我們便開始逐步設計實驗，目的就是為了找出集熱盒的所有實驗參數，首先要先確立好微波吸收材料是否可真的集熱，經微波加熱後，發現微波吸收材料是確實可在短時間內升至高溫，令我們相當振奮，但在製作出集熱盒且實際燒製陶藝作品時，我們卻歷經無數次的失敗，面臨作品一次次的碎裂，釉面無法燒結成功，經過詢問指導老師且不間斷的調整實驗後，我們終於成功燒結陶瓷上釉作品，並找到最佳的火力及燒製時間。

雖然在此過程中遇到了許多的挫折及瓶頸，也曾在實驗進度停滯不前時感到身心疲憊，但相較於這些，我們樂在其中，科展帶給我們的快樂是讓我們能持續研究的動力，因為心中有一個目標，就是想要打造最棒的成品出來，在我們經過無數次的改良，成品也一步一步日漸成形時，讓我們可以漸漸體會到心中的那份滿足及成就感。其實研究過程中所考驗的，不只是組員之間的合作，還有設計實驗的邏輯及創造性，考驗我們遇到困難時，來去解決問題的思維方式，越是遇到挫折就要想辦法突破，組員之間相互扶持合作，使小組向前邁進，也讓每個人在此過程中可以學習成長。

在最後，真心的感謝在幕後用心的指導老師，從最開始實驗過程的擬定到後來完成一項的實驗、整理結果都是老師在背後耐心的指導和幫助，老師帶著我們從零開始，一步步完成這項研究，訓練我們的口條，讓我們有機會可以站上全國科展的舞台，開闊我們的視野，也謝謝一路上幫助我們研究的每一個人，因為有你們的支持與協助，才能造就今日的成果。



進行燒製陶藝作品並使用電熱偶溫度計測溫



使用不同比例高溫澆水以噴塗的方式沾黏碳化矽製作實驗試片



參加中華民國第 62 屆中小學科學展覽會結束後合影留念

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 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 2:1(水:矽酸鈉)為佳的最佳配比。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，且其耗費的電費能源可省去 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。

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，昇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：

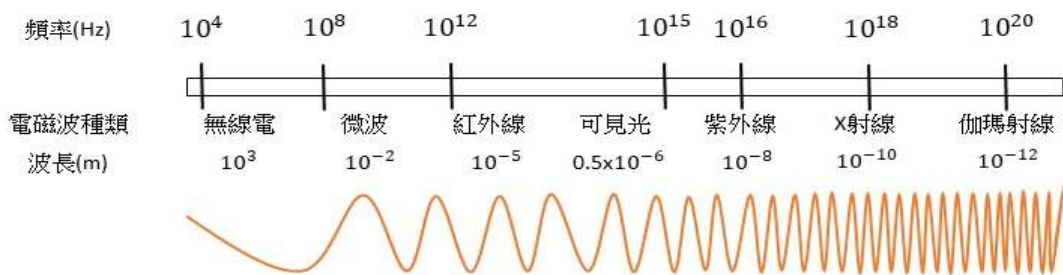
- 1.研究用於家用微波爐的集熱盒材料的材質的最佳配比與吸熱效率。
- 2.研究用於家用微波爐的集熱盒材料的高溫黏著劑的最佳配比。
- 3.研究使用家用微波爐燒製陶藝作品的方法以及程序。
- 4.研究使用家用微波爐燒製陶藝作品與傳統電窯的比較。

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。



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。

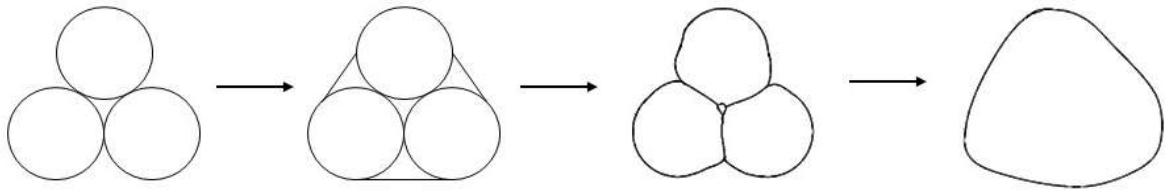


圖 2 燒結示意圖(本研究自行繪製)





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






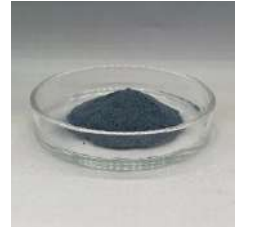







傳統電窯燒製陶藝作品耗時極長，從燒製到完成常需好幾天時間；使用家用微波爐的集熱盒是以外層保溫耐火材料及內層微波吸收材料所製成，而這種特殊結構可以讓集熱盒內在短時間內達到極高的溫度，在台灣目前多應用於玻璃工業上，熔融玻璃的溫度約為 780°C ，而陶瓷燒結的溫度約 1230°C ，因此本研究利用實驗不同配比的集熱材料及自行調配高溫黏著劑的比例，試著提高微波窯的溫度，並找到不會使陶瓷因受熱過快而炸裂的升溫時間曲線，大幅減少時間及能源成本。表3為本研究所需之實驗器材。

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：

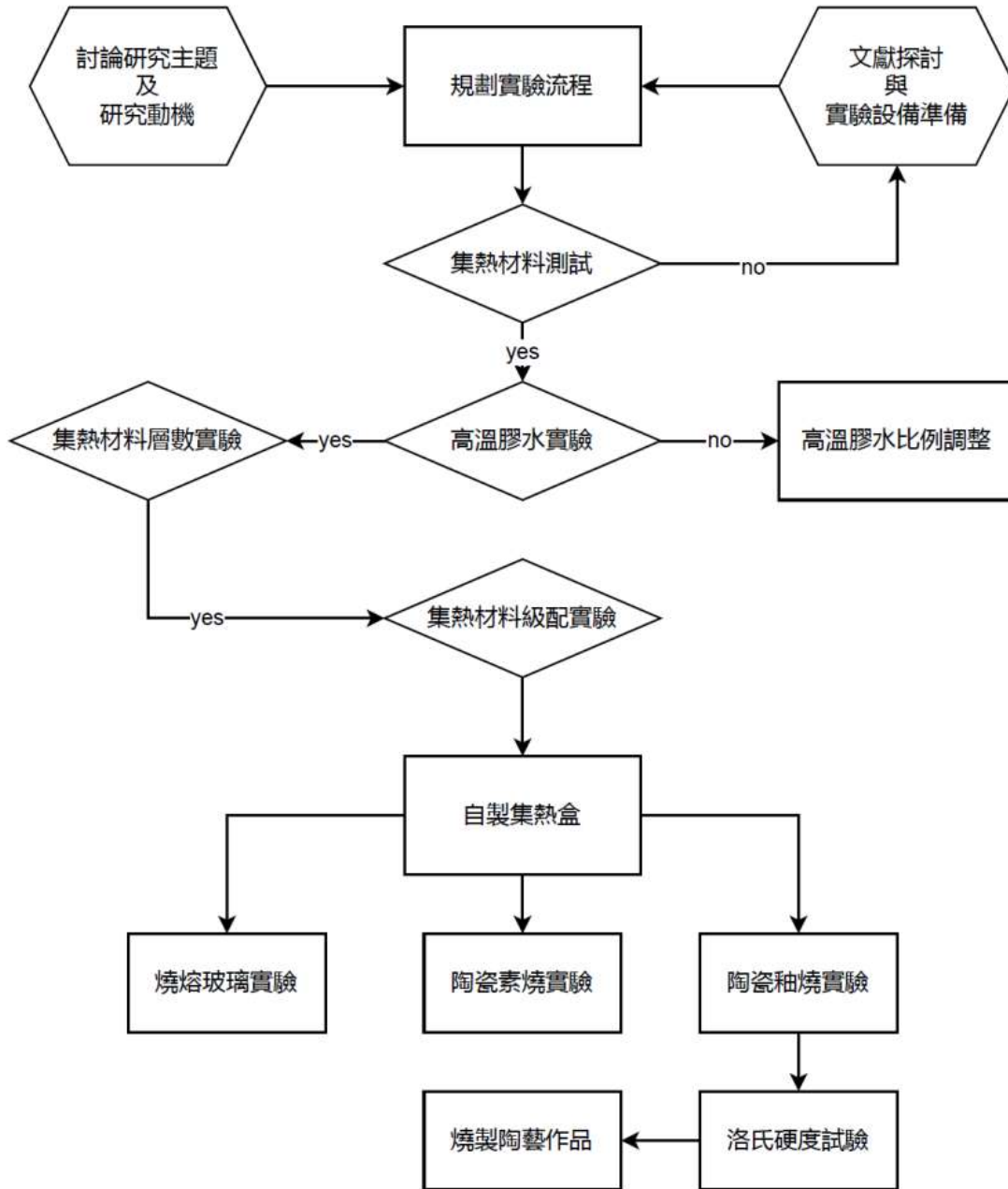


圖 3 研究過程及方法流程圖

(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.調製水:矽酸鈉不同比例：全矽酸鈉、1:1、2:1、4:1

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(320 目)

4.重複以上兩步驟 10 次(10 層碳化矽粉)

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層數

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.沾取不同層數碳化矽：2x、6x、10x、14x

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層數

(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.沾取以下不同級配比例碳化矽，重複步驟 2 及步驟 3 十次，共 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鋯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與氧化鋯粉具有良好的導熱性可以聚熱，我們將些許碳化矽與氧化鋯粉置於低導熱的耐火磚上以陶瓷圓柱蓋住，若碳化矽與氧化鋯粉可燒至高溫，則可確定我們將選擇使用的碳化矽或氧化鋯可作為自製集熱盒內層的塗料，實驗流程與結果氧化鋯最高溫只能到達 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：

- 全:100ml 矽酸鈉
- 1:1: 50ml 水+50ml 矽酸鈉
- 2:1: 40ml 水+20ml 矽酸鈉
- 4:1: 80ml 水+20ml 矽酸鈉

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(水:膠)	碳化矽層數	顆粒大小	上膠方式
操作	全 1:1 2:1 4:1	10x	碳化矽 320 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，重複噴灑與沾取至第 10 層

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





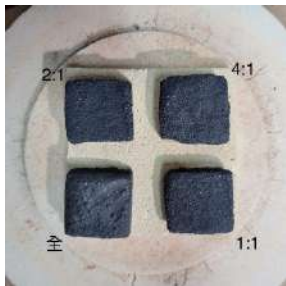
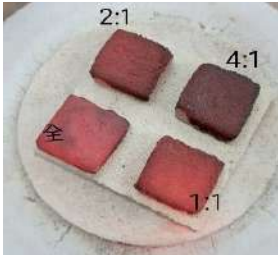
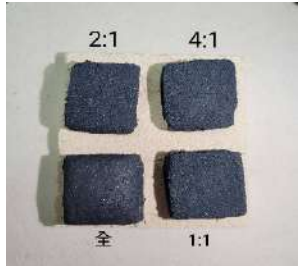
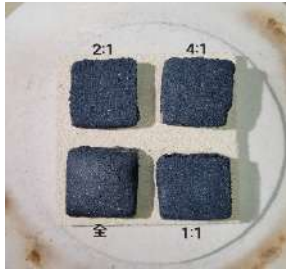
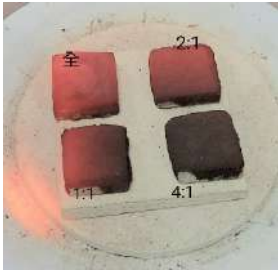
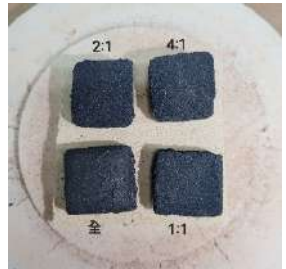

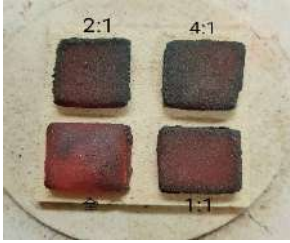
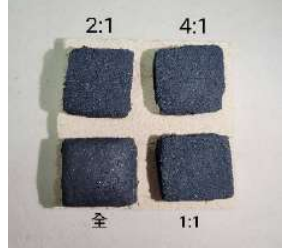
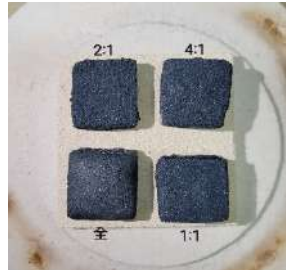
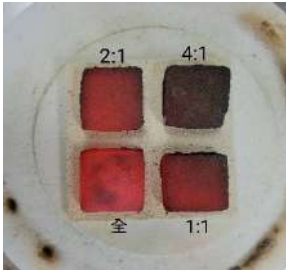
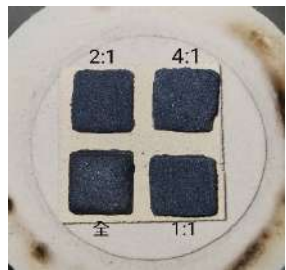
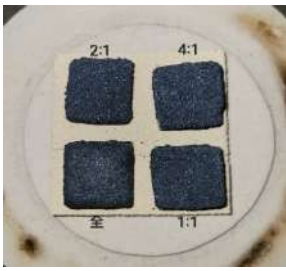
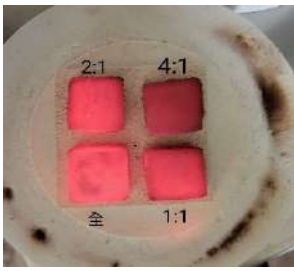
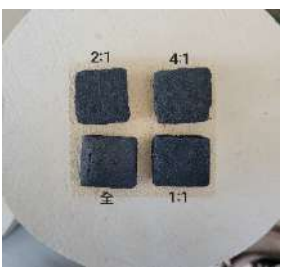
	全	1:1	2:1	4:1
烘乾前的 碳化矽試 片				

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)：僅全的試片有些許龜裂
- 3.第三次加熱(10 分鐘)：全的試片有龜裂，4:1 有些微膨脹
- 4.第四次加熱(10 分鐘)：全的試片有龜裂，4:1 有些微膨脹
- 5.第五次加熱(10 分鐘)：全的試片有龜裂，4:1 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窯爐內加熱，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


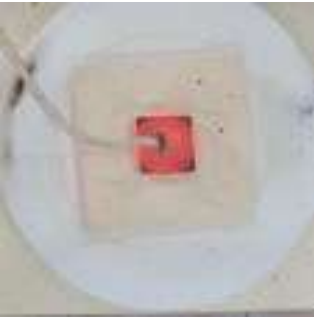

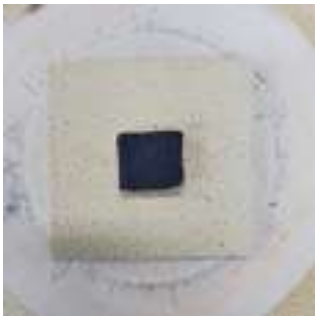


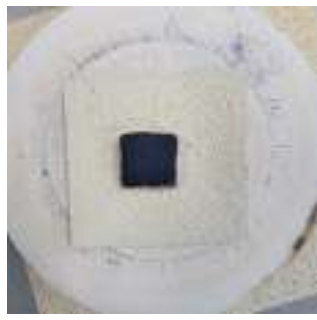
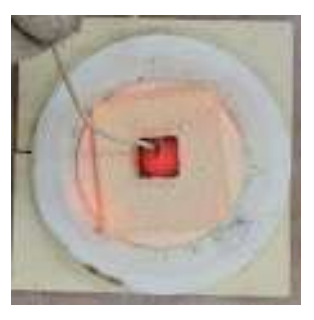




(二)第二組試片：測試膠水比例對於在不同時間下對發熱效率的影響，我們分別將不同比例之高溫膠水，將碳化矽塗上耐火磚使用微波大火分別持續 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘，將高溫測溫電熱偶放置於碳化矽塗層上持續 60 秒，並測其連續溫度並找出最高溫，並製成下表及圖示。

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)	碳化矽層數	顆粒大小	上膠方式
操作	全 1:1 2:1 4:1	10x	碳化矽 320 目	將耐火磚上直接噴灑膠水，沾取碳化矽，重複噴灑與沾取至第 10 層

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
100% 矽酸鈉			
1:1 (水：矽酸鈉)			
2:1 (水：矽酸鈉)			
4:1 (水：矽酸鈉)			

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(底色紅色的為測得之最高溫)

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
全	47.3	59.7	67.9	73.5	78.2	88.9	94.7	102.5	108.7	113	116.5
1.1	92.4	111.1	124.7	134.4	141.4	148.7	154.2	155.7	154.2	154.2	153.8
2.1	42.2	81.9	109.5	127.4	140.2	148.4	155.7	161.2	163.5	165.4	168.9
4.1	57.4	92	116.5	130.1	140.6	150.3	157.7	165	169.3	172.8	175.1
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
全	119.6	122.7	125.1	126.6	128.2	128.9	128.9	128.2	126.2	126.2	128.2
1.1	152.6	151.9	153	152.6	153.8	156.9	158.8	160.8	161.9	163.5	165
2.1	173.6	177.4	179	178.6	177.8	179.8	181.3	182.5	184	185.6	187.9
4.1	177.8	179	179.4	179	179	178.2	178.6	177.4	178.2	177.8	177.8
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
全	130.5	132.1	132.4	132.4	132.8	133.2	134	134.4	138.7		
1.1	166.2	167.8	166.6	163.5	160.8	156.9	154.2	151.1	146.8		
2.1	185.2	182.9	181.3	180.5	178.2	178.2	175.9	173.6	171.2		
4.1	177.4	176.7	176.3	174.3	172.8	172.4	171.2	171.6	172		

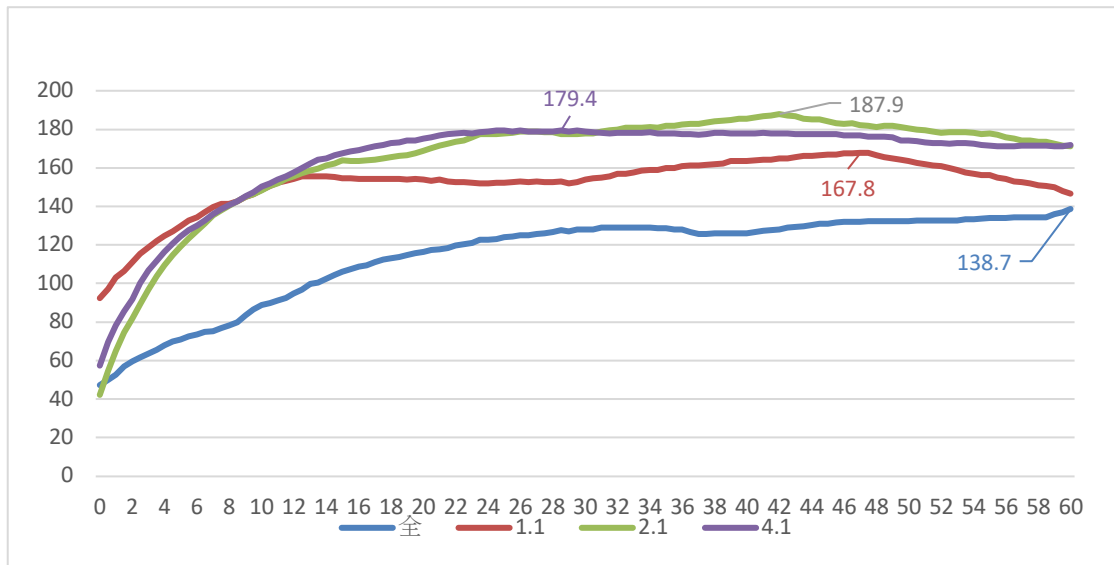


圖 4 微波 5min 不同高溫膠水對發熱效率影響折線圖

2-1 實驗結果：5 分鐘發熱效率，膠水比例 2:1 與 4:1 及 1:1 無明顯差別。

2-2.第二次測溫(5 分鐘)：1:1、2:1、4:1 之試片與碳化矽塗層在燒結後產生分離現象

表 16 微波大火持續 5 分鐘測量溫度(°C)數據(底色紅色的為測得之最高溫)

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
全	32.7	61.5	81.3	95.3	105.8	113.6	121.3	127.5	131.8	135.7	137.6
1.1	80.9	102.7	117.8	130.3	139.6	145.8	150.4	154.7	156.2	154.7	156.2
2.1	24.9	69.3	94.1	114.4	127.5	136.1	143.8	151.6	156.6	160.1	161.3
4.1	48.6	99.6	127.5	151.2	164	172.5	179.5	184.5	189.9	193.4	196.9
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
全	138.8	138	137.6	138.4	138.8	139.2	138.4	136.5	135.7	134.9	134.5
1.1	159	159.7	158.2	158.2	155.9	154.3	154.7	152.4	151.2	149.3	150
2.1	160.9	161.3	162	162.4	161.7	161.7	162.4	161.7	159.3	159	157.8
4.1	199.6	201.9	203.1	203.5	204.3	203.1	203.5	203.9	203.1	201.6	119.6
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
全	134.9	134.5	133.3	133.3	130.3	126.8	123.3	121.3	121.3		
1.1	147.3	147.3	145	142.7	138.8	138.8	139.2	139.2	136.5		
2.1	156.2	156.2	157.4	156.2	156.2	155.1	155.5	155.5	154.7		
4.1	197.7	198.1	198.5	198.1	197.7	195	192.6	190.7	188.2		

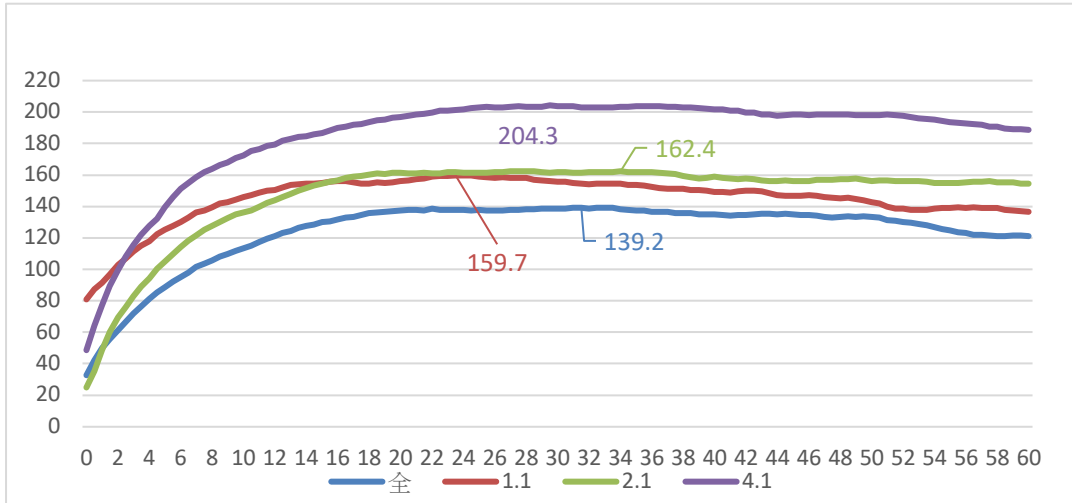


圖 5 第二次微波 5min 不同高溫膠水對發熱效率影響折線圖

2-2 實驗結果：溫度由高至低為 4:1、2:1、1:1、全，碳化矽塗層燒結後皆產生分離現象

2-3.第三次測溫(10 分鐘)：

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

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
全	20	20.4	20.8	21.9	150.7	244.4	314.7	351.3	365.8	384.4	405.9
1.1	101.8	186.7	234.4	268.7	290.4	301.2	314.7	320.1	310.8	308.5	302.7
2.1	32.5	140.2	212.7	259.5	286.1	307.7	323.9	333.6	339.7	342.4	342.8
4.1	130.9	192.9	233.2	234.4	258.3	274.6	286.9	295.8	303.5	308.5	310.1
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
全	410.5	410.9	414	413.2	408.6	394	389.4	387.5	384.8	379.4	375.1
1.1	300	297.3	294.2	293.1	290.4	288.1	284.2	280.7	278.4	274.2	270.7
2.1	340.1	340.1	340.1	340.5	335.9	333.6	332.4	328.6	320.8	317.4	316.6
4.1	311.6	308.9	304.7	302.7	303.1	303.1	300.4	298.1	294.6	291.5	289.6
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
全	372.4	370.9	366.3	364.7	365.1	367.1	367.8	363.2	361.3		
1.1	268.7	269.5	267.2	268.4	269.1	266.4	263.3	261	257.2		
2.1	317.8	317	317.8	313.9	310.8	308.5	305.4	303.5	303.1		
4.1	290	290.8	288.8	286.1	284.2	282.3	279.6	275.7	273.4		

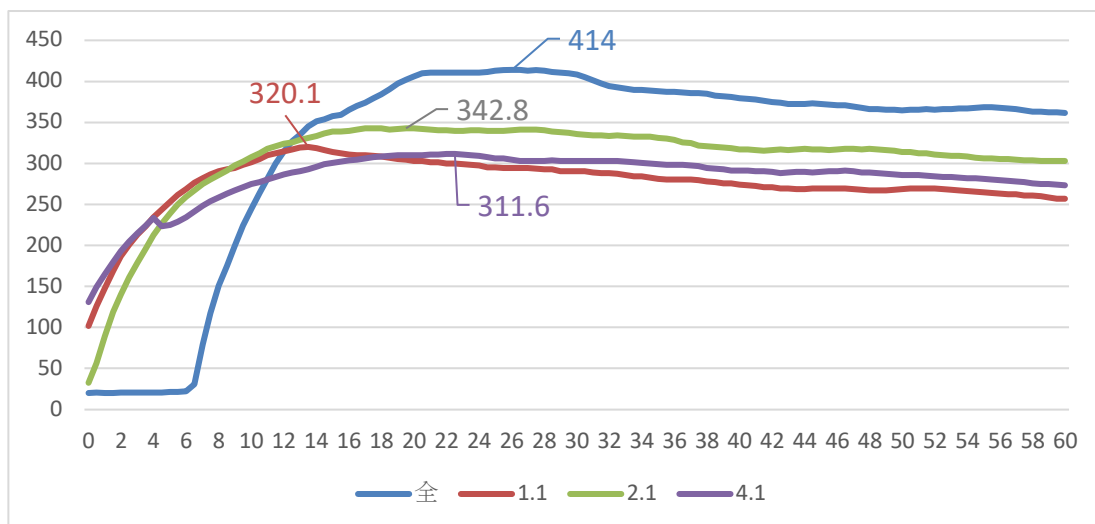


圖 6 微波 10min 不同高溫膠水對發熱效率影響折線圖

2-3 實驗結果：除 1:1 的試片外其他試片溫度差異不大

2-4.第四次測溫(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(底色紅色的為測得之最高溫)

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
全	224.8	301.6	356.6	412	452.2	470.6	489.8	506.6	517.7	521.1	515.4
1.1	95.7	195.3	248.3	283.4	306.6	317.7	334.3	345.1	353.6	361.6	362.4
2.1	68.1	162.8	250.2	292.3	331.2	363.2	383.5	393.1	398.9	393.1	385.8
4.1	22.6	51	137.6	192.6	228.2	255.3	278.4	300	318.1	334.3	347.4
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
全	509.3	503.1	504.7	498.6	485.9	481.7	481.7	477.9	476.7	475.2	474
1.1	358.6	359.7	358.9	358.2	355.9	354.3	353.2	354.7	356.6	358.6	356.2
2.1	384.7	380.1	377	371.6	362.8	358.2	354.7	349.7	347.4	345.1	344.7
4.1	355.9	368.2	372.4	374.7	376.6	377	378.2	375.5	368.2	365.5	358.9
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
全	471.4	469.1	466.4	463.3	459.5	454.9	449.9	444.2	439.2		
1.1	355.5	356.2	355.5	348.9	341.2	333.1	328.5	327.8	324.3		
2.1	341.6	342	342	341.2	338.9	362.2	331.1	362.2	320.4		
4.1	352.8	347.4	346.6	345.1	341.6	339.7	335.5	336.2	335.8		

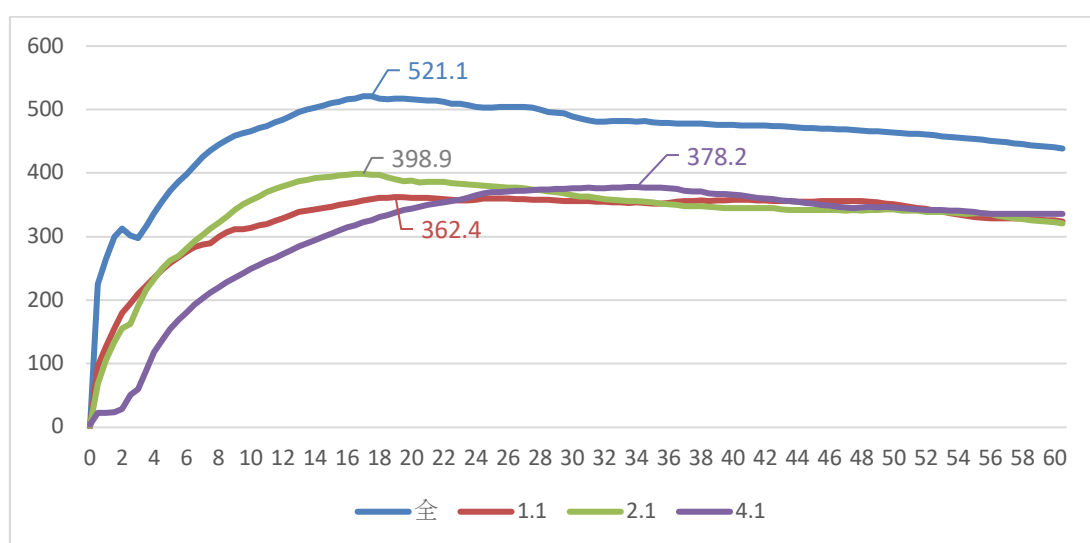


圖 7 微波 15min 不同高溫膠水對發熱效率影響折線圖

2-4 實驗結果：溫度由高至低依序為全、2:1、4:1、1:1

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

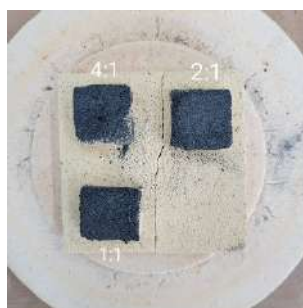


圖 8 加熱前

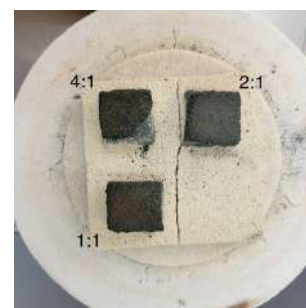


圖 9 冷卻後

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	碳化矽層數	顆粒大小	上膠方式
操作	1:1	10 層(320 目)	100%	將耐火磚上直接噴灑膠水，沾取碳化矽，重複噴灑與沾取至第 10 層

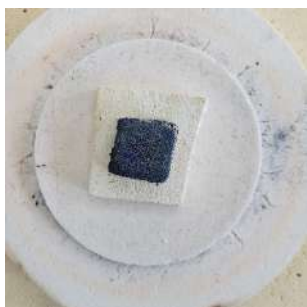


圖 10 加熱前



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 2:1 為往後製作自製集熱盒之高溫膠水比例。

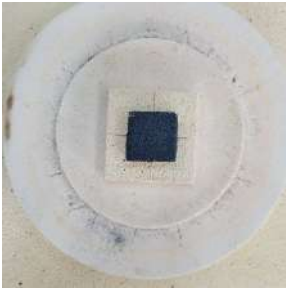
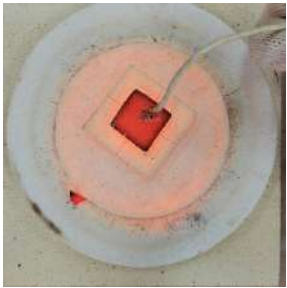
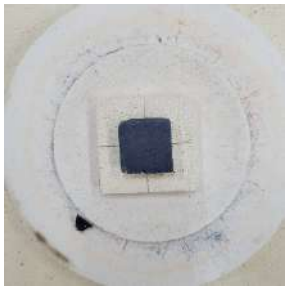
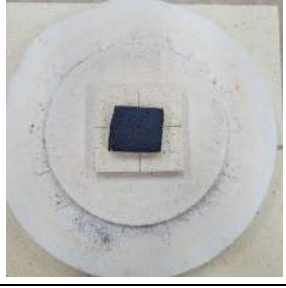

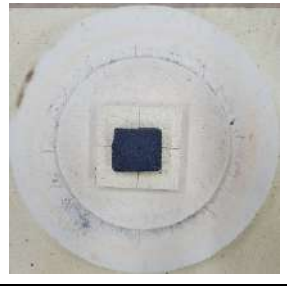
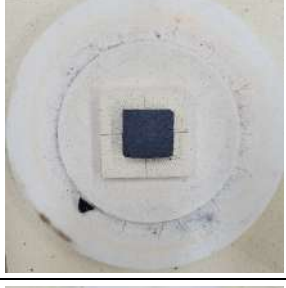
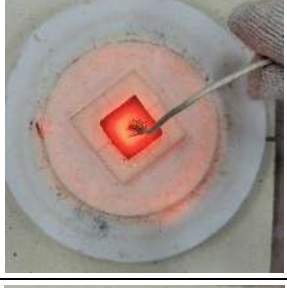
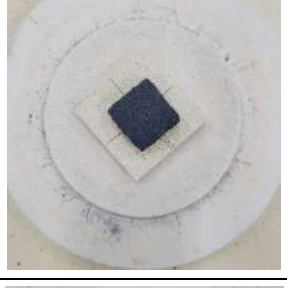
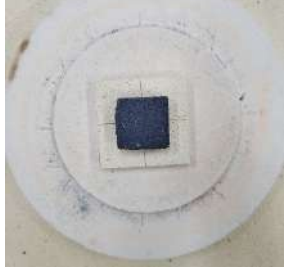
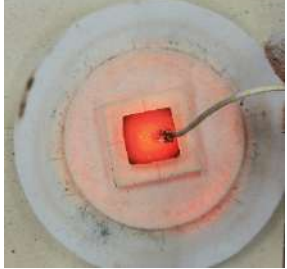
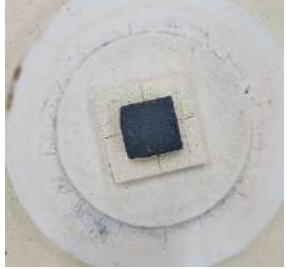
三、碳化矽層數集熱實驗：找出發熱效率最好之碳化矽層數

表 20 找出發熱效率最好之碳化矽層數實驗操作表

	膠水比例(水:膠)	層數	顆粒大小	上膠方式
操作	2:1	2 層 6 層 10 層 14 層	100% (皆為 320 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層數

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層數實驗操作表

碳化矽層數	加熱前照片	測溫(持續 60 秒) 照片	冷卻後(10 分鐘) 照片
2 層			
6 層			
10 層			
14 層			

3-1.第一次測溫(5 分鐘)

表 22 不同層數微波大火持續 5 分鐘測量溫度(°C)數據(底色紅色的為測得之最高溫)

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
2 層	64.6	85.2	101.5	108.1	115.9	122.1	127.5	131.4	135.7	139.2	143.4
6 層	37	81.7	107.7	124.8	138	149.3	157.3	164.4	172.1	177.9	182.2
10 層	46.7	84	111.2	129.1	141.9	152.4	160.9	170.6	177.9	184.1	189.2
14 層	113.2	141.1	159	167.5	176.4	184.5	188.4	191.5	193.4	195.3	195.3
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
2 層	146.2	150.8	153.4	156.2	158.2	160.5	161.7	162.2	163.6	165.1	165.1
6 層	185.3	186.1	186.5	188.8	192.6	194.6	195	196.5	198.8	200	199.6
10 層	194.6	198.8	202.3	205	206.2	207.3	206.6	204.6	203.1	200	196.9
14 層	195.3	196.5	196.1	195.8	195.8	199.2	201.9	203.1	204.3	202.3	201.6
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
2 層	164	164	164.8	166.7	164.4	162.4	160.5	156.6	156.2		
6 層	198.1	199.2	200.4	201.1	200	198.1	193.8	189.5	187.2		
10 層	195	192.3	191.5	190.7	190.7	186.9	188.8	188.4	188.4		
14 層	199.2	198.1	197.3	196.5	194.6	194.2	194.6	194.2	195.8		

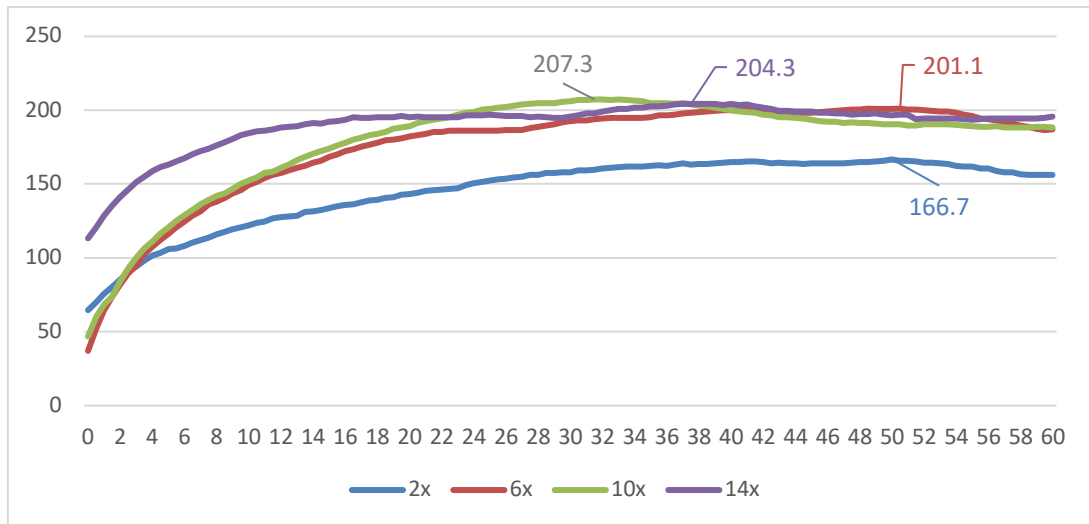


圖 8 微波 5 分鐘不同層數碳化矽之溫度數據折線圖

3-1 實驗結果：6 層、10 層、14 層集熱效果佳，2 層的集熱效果差。

3-2.第二次測溫(10 分鐘)

表 23 不同層數微波大火持續 10 分鐘測量溫度(°C)數據(底色紅色的為測得之最高溫)

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
2 層	30.5	136.7	190.2	228.2	252.1	266.8	273.4	281.1	281.9	281.1	282.7
6 層	29	188.3	303.9	383.2	442	469.6	482.6	487.2	494.5	501	502.9
10 層	29	61.7	238.2	374.4	418.6	458.5	474.6	486.1	488	479.5	487.4
14 層	29.3	181.7	308.5	377.1	424.7	448.9	458.1	462.3	462.2	468.4	473.4
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
2 層	282.7	285	282.7	281.1	270.7	260.3	256	255.6	263	269.5	273.4
6 層	504.1	500.6	497.6	495.2	490.3	487.2	482.6	478.4	468.4	460	455
10 層	483	478.8	467.7	458.1	451.2	445.1	445.4	442.7	440.8	436.6	428.5
14 層	469.2	461.9	452.7	449.3	446.2	440.8	434.7	435.1	432.4	429.3	421.3
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
2 層	275.3	276.9	274.9	271.1	266	261	260.3	259.5	257.2		
6 層	451.2	445.8	440.1	435.1	429.3	425.1	416.6	407.4	395.5		
10 層	419.7	413.2	405.1	428.8	398.6	398	382.4	372.3	370.1		
14 層	416.6	415.9	414.3	405.9	397.4	381.1	380.1	375.1	372.1		

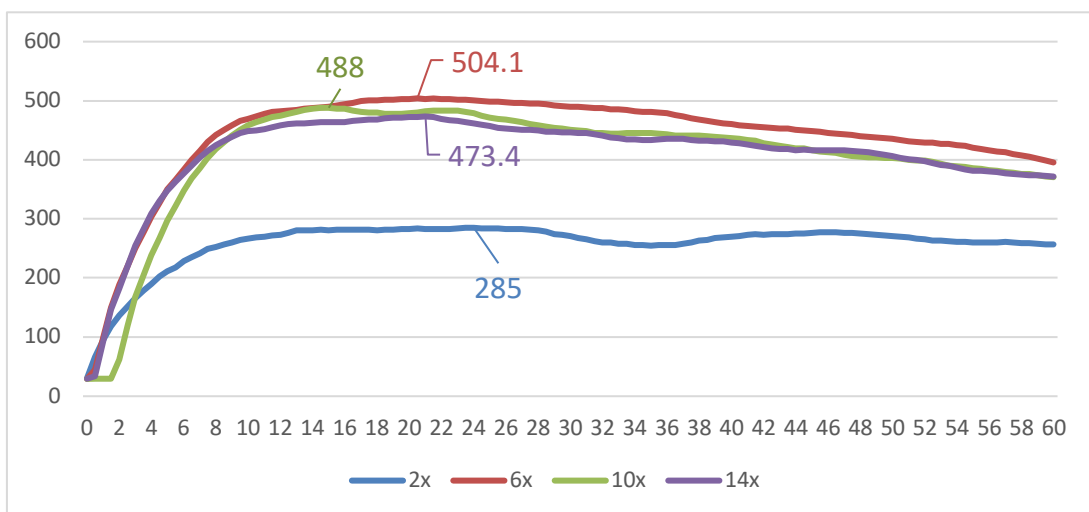


圖 9 10min 不同層數碳化矽之溫度折線圖

3-2 實驗結果：溫度由高至低依序為 6 層、10 層、14 層、2 層

3-3.第三次測溫(15 分鐘)

表 24 不同層數微波大火持續 15 分鐘測量溫度(°C)數據(底色紅色的為測得之最高溫)

時間(秒)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
2 層	33.6	172	260.6	318.1	347.8	374.8	388.2	397.8	411.6	421.6	428.5
6 層	59.4	219.7	315.8	385.9	428.9	451.6	466.1	482.6	486.5	481.5	478
10 層	27	42.2	247.9	372.1	450.8	504.1	538.1	559.1	574.4	571.7	569
14 層	58.2	176.3	317	409.7	464.2	481.5	467.7	496.4	512.1	509.4	510.2
時間(秒)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
2 層	433.9	438.5	440.1	433.5	430.9	433.2	434.7	433.9	435.1	435.1	433.5
6 層	469.2	459.2	447.7	443.1	443.9	442.4	443.1	448.1	447	440.8	437
10 層	565.6	562.6	554.2	546.5	536.9	529.3	524.3	519	514.8	507.5	499.1
14 層	508.3	507.1	508.3	505.2	504.1	503.3	498.3	494.5	487.6	475.7	464.2
時間(秒)	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
2 層	429.7	428.2	426.3	425.1	419.7	415.1	407.1	403.2	397.8		
6 層	430.9	427	420.1	411.3	402.8	395.9	392.1	388.2	383.2		
10 層	489.1	481.9	472.7	467.3	463.1	460	457.3	450	445.8		
14 層	458.1	450.4	442.4	437.8	429.3	420.5	414	405.9	392.8		

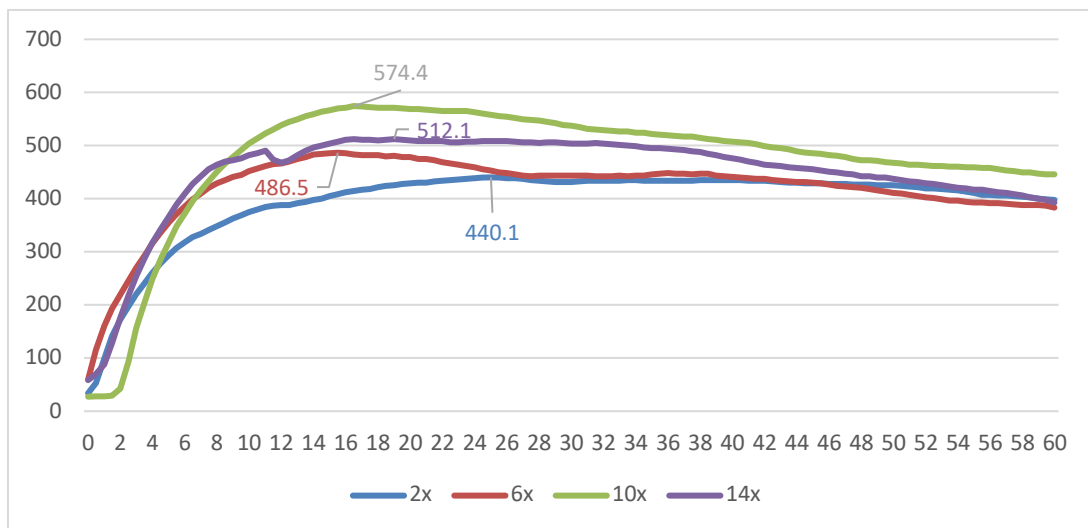


圖 10 15min 不同層數碳化矽之溫度比較折線圖

3-3 實驗結果：溫度由高至低依序為 10 層、14 層、6 層、2 層

結論：內層塗料的層數選擇 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

表 25 碳化矽級配實驗操作表

	膠水比例 (水:膠)	碳化矽 塗裝層數	碳化矽 顆粒級配	上膠方式
操作	1:1	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 噴灑與沾取至實驗層數

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

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		

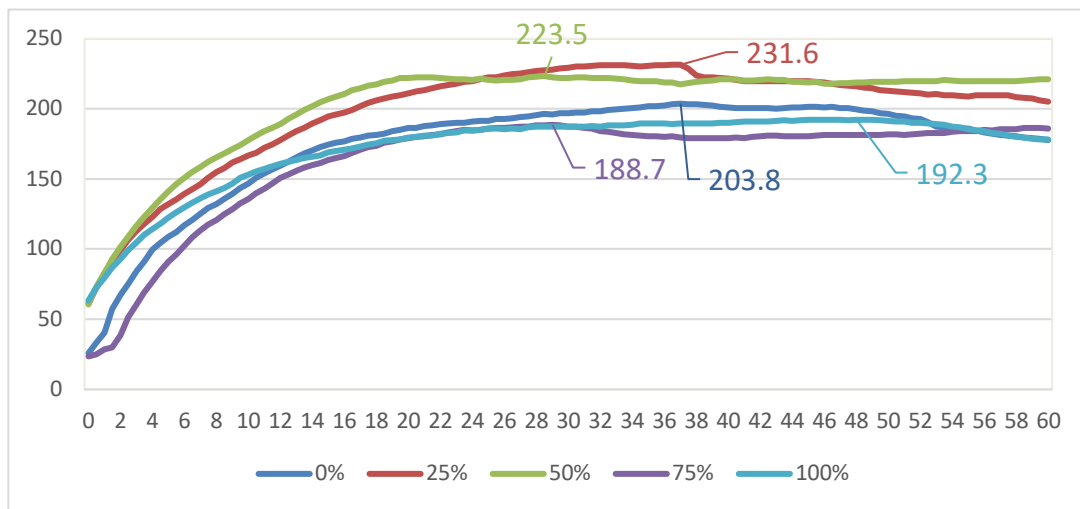


圖 11 10min 不同顆粒大小對發熱效率影響比較折線圖

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。

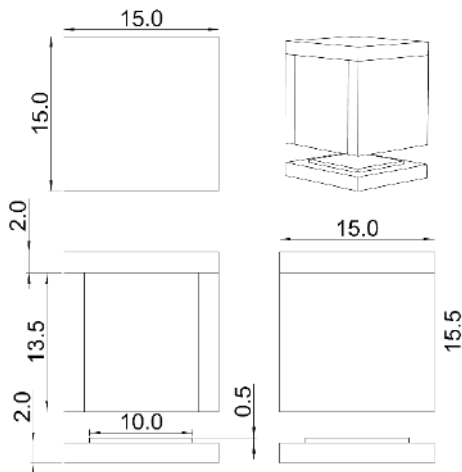


圖 12 集熱盒尺寸圖

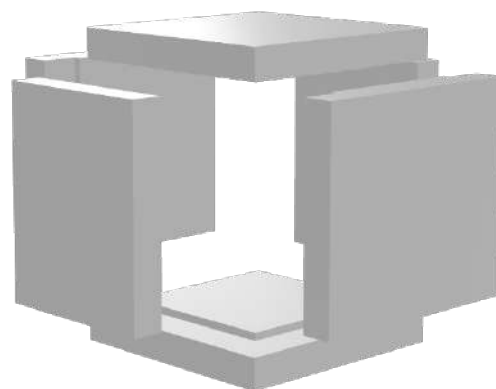








圖 13 集熱盒設計圖

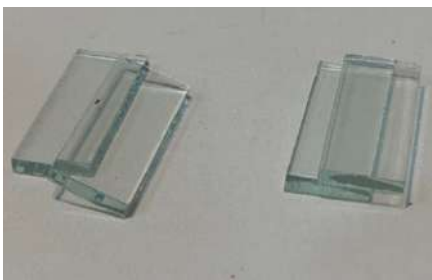

表 27 玻璃纖維嘗試自製集熱盒實驗操作表

步驟	準備一片 25mm 厚的緻密玻璃纖維	標記尺寸後粗切割	標記細切割尺寸
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	 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 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 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 F0 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 F0+F1 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。

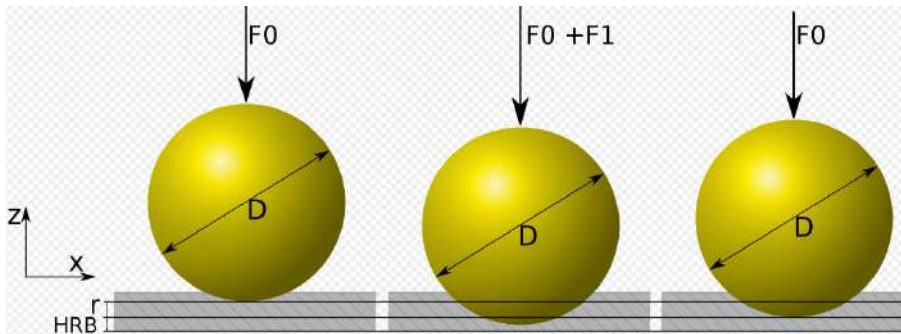


圖 18 洛氏硬度儀測試原理(資料來源:維基百科)



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，碳化矽的層數以半浸泡的方式沾黏 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 2:1(水:矽酸鈉)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】 052403

本研究使用家用微波爐及自製集熱盒燒製高溫陶瓷材料，集熱盒選用材質為玻璃纖維，同時選用碳化矽顆粒提供最佳微波吸熱效率，試驗步驟說明詳實且試驗內容完整，若能針對內層塗料最佳層數及碳化矽最佳級配深入分析探討，將使研究成果具實務應用價值。研究成果顯示家用微波爐搭配自製集熱盒，可大幅減少陶瓷燒製時間且節省電費能源，為一深具發展性之陶瓷燒成技術。文獻回顧對陶瓷相關製程與原理解釋清楚。團隊對自製集熱盒材料與碳化矽集熱材料塗層的優化是關鍵。經四至五次測試找出火力調控的方法(從微火到強火每兩分鐘轉一格共 24 分)，可成功燒製陶瓷。微波釉燒陶土、瓷土外觀與洛氏硬度與電窯燒製之成品無明顯差異。此研究極具應用潛力。幾個建議與需改進的方向:

1. 本研究無法精確控制溫度，使用上較不易，建議未來可改善。
2. 圖表縱橫軸沒有標題，導致讀者判讀方面有些影響，圖表有一些打錯，像是 2:1 打成 2.1。
3. 加熱實驗多屬定性描述、如何確保每層厚度相同未說明。

作品簡報

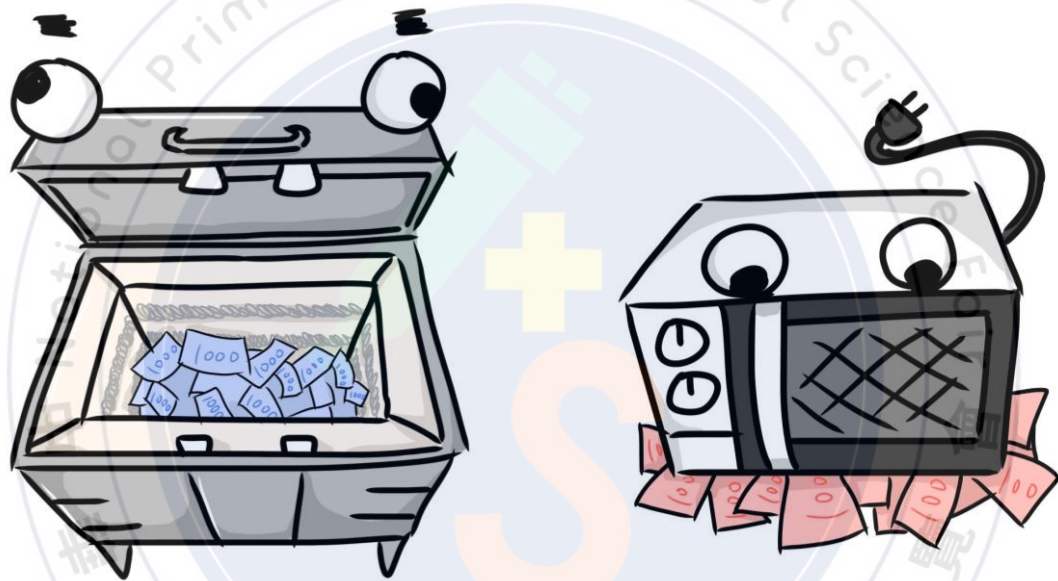
陶瓷燒成新技術 – 以家用微波爐及自製集熱盒燒製高溫陶瓷之研究

New technology of ceramic firing - research on firing high temperature ceramics with household microwave oven and self-made heat collecting box

工程學科(二) 編號：052403

研究動機-提高燒製效率

圖為本研究自行繪製



傳統電窯燒製陶藝作品需1天時間，且造價昂貴，若能使用家用微波爐燒製，可大幅節省時間、成本、電費及能源

研究目的及研究過程

01 研究用於家用微波爐的集熱盒材料的材質之最佳配比與吸熱效率

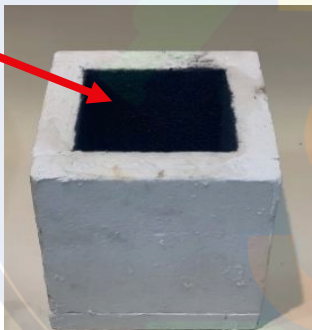
03 研究使用家用微波爐燒製陶藝作品的方法以及程序

02 研究用於家用微波爐的集熱盒材料的高溫黏著劑最佳配比

04 研究比較家用微波爐及傳統電窯

內層塗料實驗

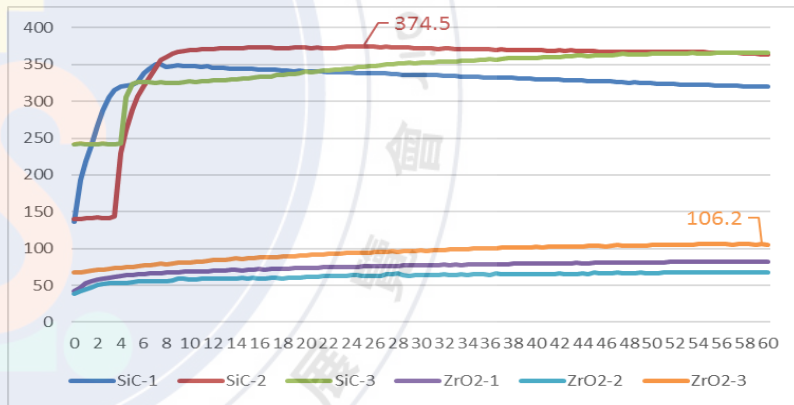
微波吸收材料測試



碳化矽



氧化鋯



10min

發熱效率：碳化矽 > 氧化鋯

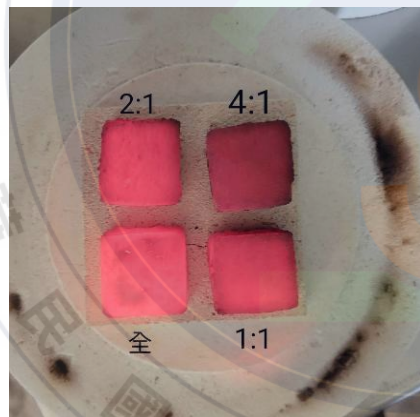
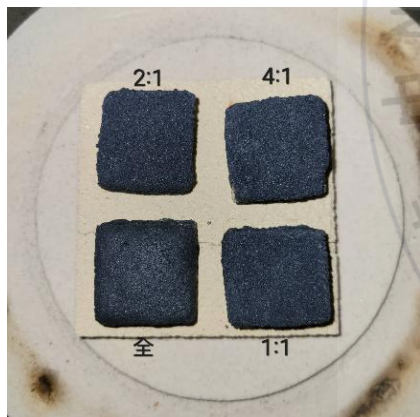
高溫膠水實驗

▼ 配方參數

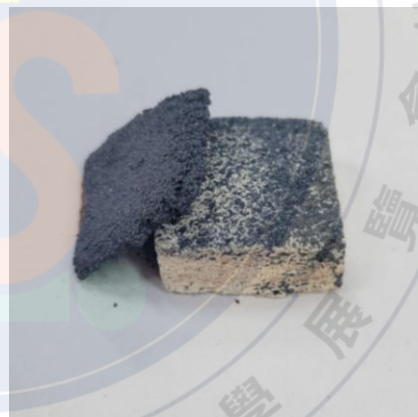
	全	1:1	2:1	4:1
水	0	50	40	80
矽酸鈉	100	50	20	20



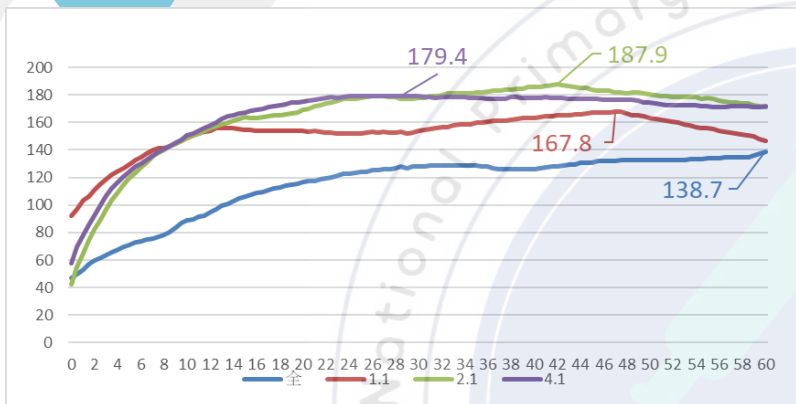
重複加熱測試



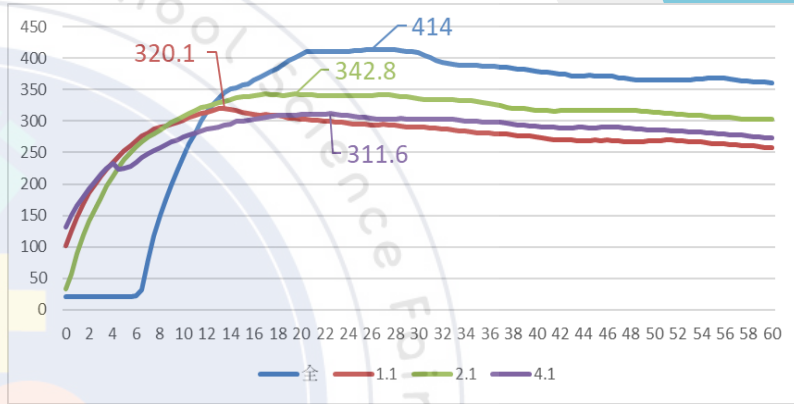
塗層剝落實驗



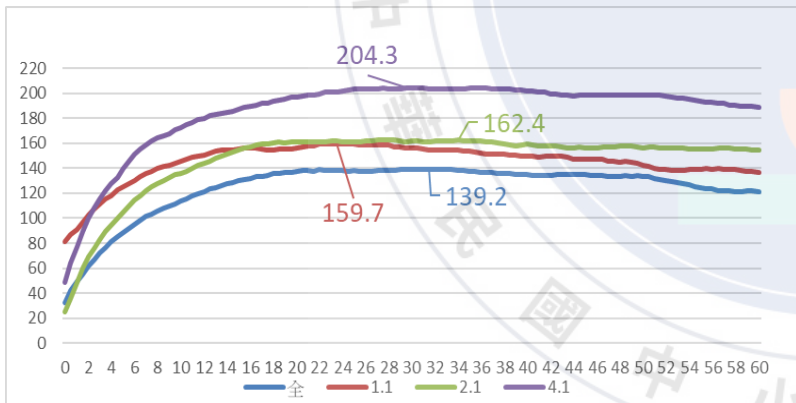
加熱後測溫



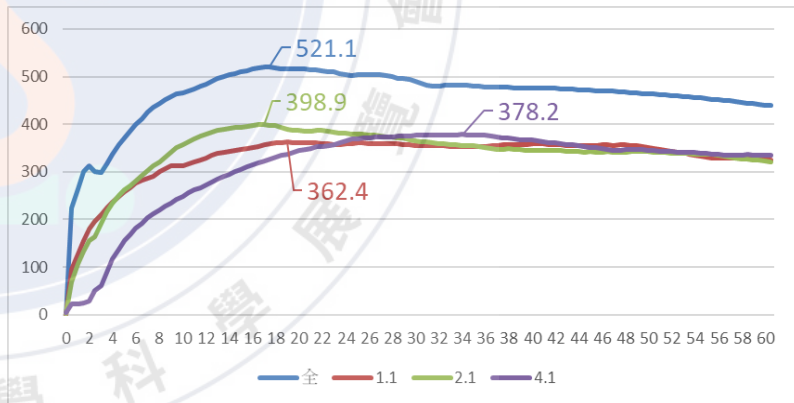
5min-1



10min

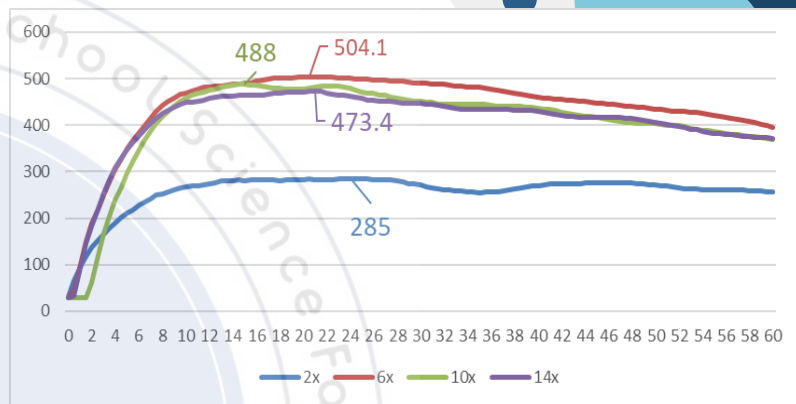
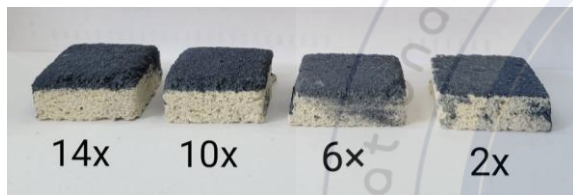


5min-2

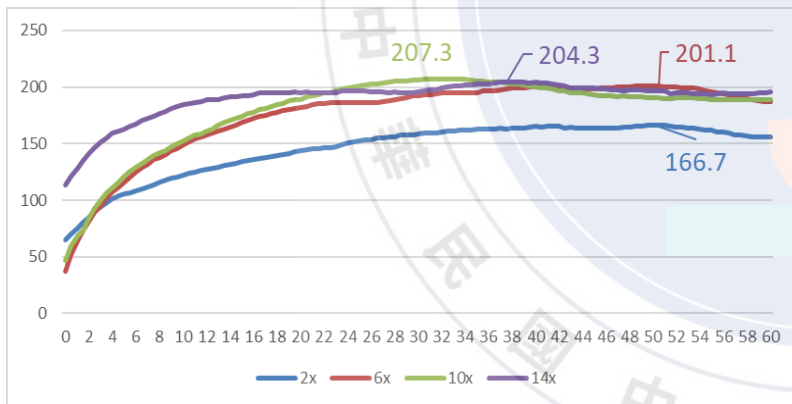


15min

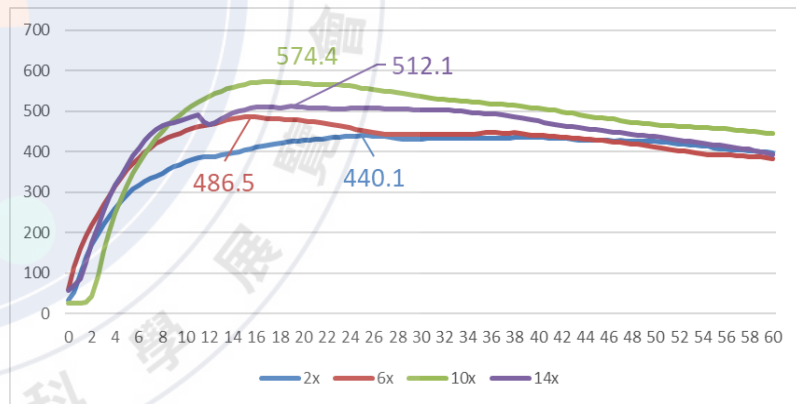
碳化矽厚度



10min



5min



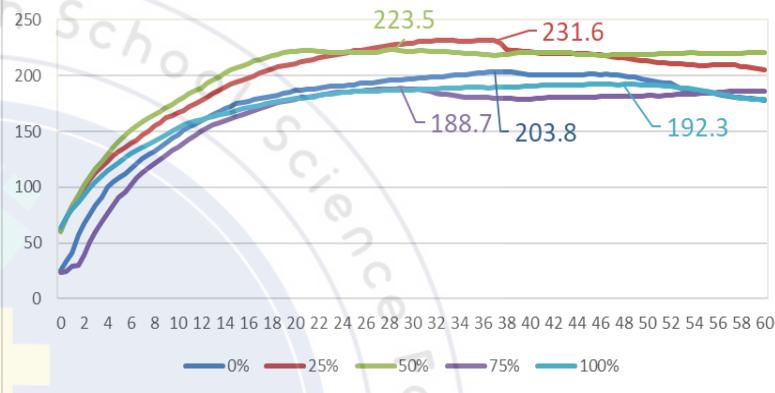
15min

碳化矽粒徑級配

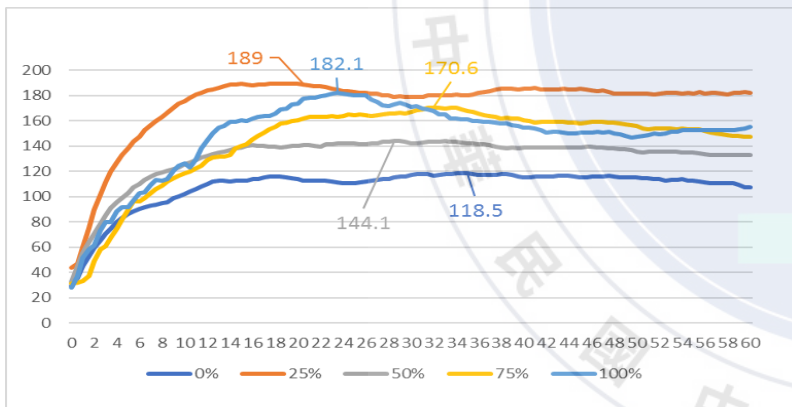


▼ 配方參數

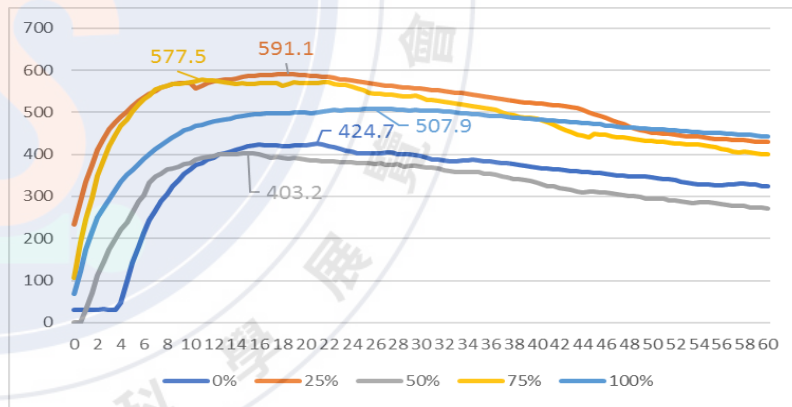
	0%	25%	50%	75%	100%
320目	0	25	50	75	100
180目	100	75	50	25	0



10min



5min



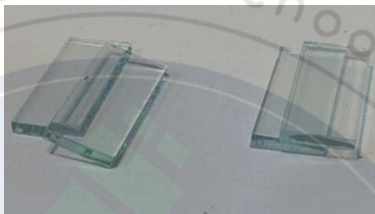
15min

自製集熱盒實驗

自製集熱盒



燒熔玻璃 (800°C)

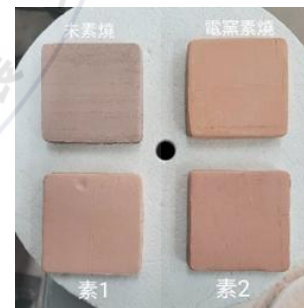


12min

素燒實驗 (900°C)



第四次
32min



第五次
24min

釉燒實驗 (1230°C)

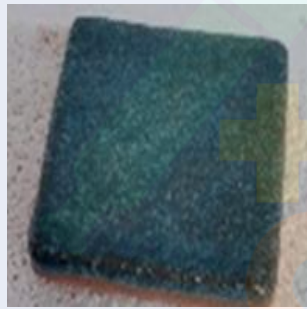
5號釉



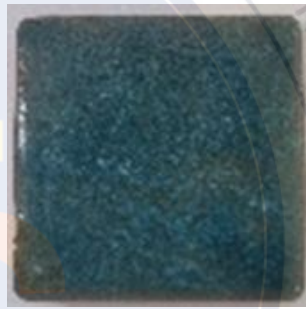
未烘乾



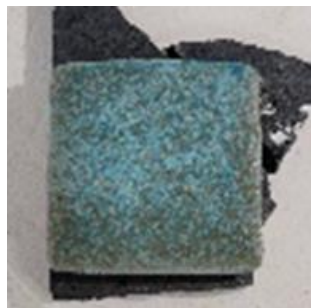
升溫過快



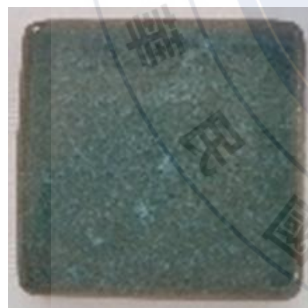
彎曲(受熱不均)



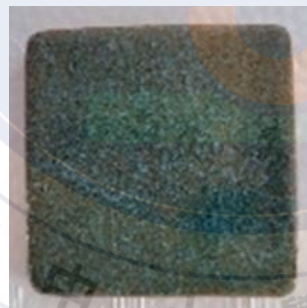
25min



未燒結



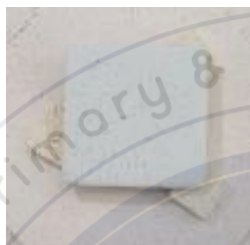
25min



26.5min



26.5min



14號釉



瓷土
電窯
10hr



陶土
微波爐
26.5min



瓷土
微波爐
25min

燒製陶藝作品



微波爐



電窯



洛氏硬度測試



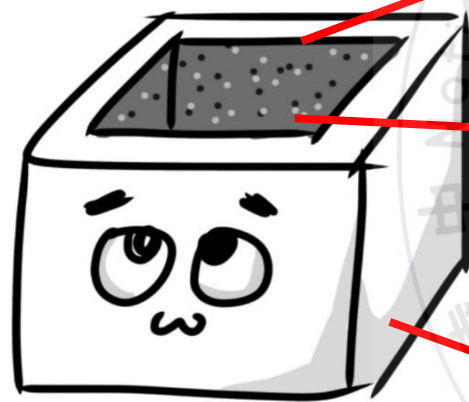
▼ 測試結果

	14號釉瓷土		5號釉陶土	
	電窯	微波爐	電窯	微波爐
洛氏硬度	123.5	121.4	114.4	117.5
差異	無明顯差異		無明顯差異	

結論

說明比較			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	1.7元/1000	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	1.9元/1000	89.44%
造價(台幣)	50000	3000	94.00%
優點	作品以程式控溫、成品穩定	造價便宜、燒製時間短、電費省	
缺點	電窯造價貴、燒製時間長、電費貴	作品測溫不易	

自製集熱盒



高溫膠水：

1. 比例2:1(水:矽酸鈉)
2. 半浸泡

碳化矽：

1. 粒徑級配75%
2. 10層

外層：

玻璃纖維

未來方向



測溫方式：

不需中斷微波加熱
即可量測溫度



集熱盒材料選擇：
不散失熱且不碳化