

# 國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

微波高功率覆晶構裝之熱模擬分析

An Analysis on Thermal Simulation of  
Microwave High Power Flip-Chip Package



研究生：劉光倫

指導教授：林振德

中華民國九十六年七月

# 微波高功率覆晶構裝之熱模擬分析

研究生：劉光倫

指導教授：林振德

## 摘要

隨著科技的快速發展，電子產品朝向小型化且多功能的目標邁進，因此設計出擁有高散熱能力產品的挑戰伴隨而來。本文針對III-V族氮化鎵電晶體覆晶構裝，分別利用有限體積與有限元素之數值模擬方法，研究構裝體之熱模擬分析。對於負責傳遞訊號且容易受破壞的凸塊及金線以雙線性之塑彈性材料以增加模擬可信度，並藉由改變結構設計、凸塊位置等變數，討論結構散熱能力與金線部份的應力及應變行為。

研究結果顯示，構裝體及凸塊體積的增加有益於散熱效果。凸塊的擺設在不影響訊號傳輸的條件下，愈靠近熱源會有愈好的散熱效果。但在凸塊體積增加下，構裝體將會有較大的應力應變值。

# An Analysis on Thermal Simulation of Microwave High Power Flip-Chip Package

Student: Guang-Lun Liu

Advisor: Prof. Jenn-Der Lin

## Abstract

With quick technology development, electronic products require the size minimization and multi-purpose usage. So far as the III-V group GaN HEMT flip chip package is concerned, the finite volume and finite element methods are applied to the thermal analysis. To improve the reliability, it is necessary to include the bilinear plastic feature of the material. The thermal dissipation, stress and strain are discussed with varying the structural design and the location of bump.

The results show that the increase of the structure and the bump volume benefit on the thermal dissipation. On the situation without affecting the signal transmission, the closer the bump approaches the heat source the better the effect is. When the bump volume increases, there are bigger stress and strain on the structure.

## 誌謝

兩年的研究所生涯，終於告一段落。這一篇論文能夠順利完成，首先要感謝我的指導老師—林振德教授，在老師辛勞叮嚀論文的進度和觀念的釐清使我在研究的道路上獲益良多，論文才能夠如期的完成。感謝口試委員蔡禎輝博士，陳志堅、許隆結等教授對論文提出的建議與改正，使論文能更臻於完善，還有曾經幫助過我的朋友們，研究室文福、志銘、懋勳、豐庭學長，材料系偉誠、瑞乾學長在研究和實驗設備上的細心指導，同窗好友志豪、昌彥這二年來在研究上的互相激勵打氣及課業上的協助，還有學弟們順隆、守焜、偉民在日常生活互相的照顧幫忙，雖然與大家相處的時間短暫，我將永遠銘記在心，因為你們讓我在新竹兩年除了學業及研究外的生活能夠更加多姿多采。

最後要感謝我的家人除了經濟上的支持外，在研究所生活上給予我相當多的鼓勵以及關心，以及女友在我的求學生涯一路陪伴。謹將此論文獻給所有關心我的人。

# 目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	viii
圖目錄	ix
符號表	xii
第一章 緒論	1
1-1 前言	1
1-2 GaN HEMT	1
1-2-1 氮化鎵	1
1-2-2 高電子遷移電晶體	2
1-3 電子構裝簡介	3
1-3-1 電子構裝的目的	3
1-3-2 覆晶構裝	4
1-3-3 球格陣列構裝	5
1-4 文獻回顧	6
1-5 研究動機與目的	7

第二章 物理與數學模式.....	9
2-1 物理模式.....	9
2-2 熱傳數學模式.....	10
2-2-1 暫態熱傳數學模式.....	10
2-2-2 穩態熱傳數學模式.....	10
2-2-2-1 流體區域.....	10
2-2-2-2 固體區域.....	11
2-2-2-3 液固介面區域.....	12
2-2-2-4 熱源處理.....	12
2-2-3 交錯式網格.....	12
2-3 熱應力與熱變形數學模式.....	13
2-3-1 彈性線性材料.....	14
2-3-2 非線性彈塑性材料.....	15
第三章 數值模擬.....	18
3-1 ICEPAK 計算晶片溫度.....	18
3-1-1 前處理.....	18
3-1-2 求解分析.....	19
3-1-3 後處理.....	20
3-2 ANSYS 計算熱應力.....	20

3-2-1 重建晶片溫場.....	20
3-2-1-1 前處理.....	20
3-2-1-2 求解分析.....	21
3-2-1-3 後處理.....	22
3-2-2 計算熱應力值.....	22
3-2-2-1 前處理.....	22
3-2-2-2 求解分析.....	23
3-2-2-3 後處理.....	23
第四章 結果與討論.....	24
4-1 熱源個數及間距對熱傳之影響分析.....	25
4-2 100X2 結構之熱傳及熱應力分析 .....	25
4-3 100X6 結構之熱傳及熱應力分析 .....	26
4-4 100X10 結構之熱傳及熱應力分析.....	27
4-5 充入填膠結構之熱傳及熱應力分析.....	28
第五章 結論與未來展望.....	29
5-1 結論.....	29
5-2 未來展望.....	29
參考文獻.....	31
表附錄 .....	34





## 表目錄

表 2-1 模型幾何尺寸表.....	34
表 2-2 材料性質表.....	34
表 4-1 模擬結果表.....	35



## 圖目錄

圖 1-1 IC 元件在封裝型態上的發展與演進.....	36
圖 1-2 引起電子元件損壞的主要因素.....	36
圖 1-3 微波收發裝置的基本方塊圖.....	37
圖 1-4 覆晶示意圖 .....	37
圖 2-1 模型幾何圖-側視.....	38
圖 2-2 實體結構圖-上視.....	38
圖 2-3 交錯式網格.....	39
圖 2-4 棋盤壓力示意圖.....	39
圖 2-5 各節點之自由度 .....	40
圖 2-6 塑性材料之應力應變曲線.....	40
圖 2-7 六個方向之應力分佈.....	41
圖 2-8 材料之降伏準則 .....	42
圖 3-1 模擬分析流程圖.....	43
圖 3-2 ICEPAK 建構之構裝體模型圖.....	44
圖 3-3 ICEPAK 建構之網格圖.....	44
圖 3-4 上金線及熱源網格加密.....	45
圖 3-5 ICEPAK 後處理.....	45
圖 3-6 ANSYS 建構之構裝體模型圖.....	46

圖 3-7 solid90 熱分析元素.....	46
圖 3-8 ANSYS 建構之網格圖.....	47
圖 3-9 溫度場重建 .....	47
圖 3-10 邊界條件設置圖.....	48
圖 3-11 ANSYS 後處理.....	48
圖 4-1 以 100X10_GG50_SD5 為例之凸塊型式 .....	49
圖 4-2 100X10_GG50_SD5-type4 凸塊實體圖.....	49
圖 4-3 以 100X10_GG50_SD5 為例之溫度場分佈 .....	50
圖 4-4 以 100X10_GG50_SD5 為例之上金線圖 .....	51
圖 4-5 以 100X10_GG50_SD5-type1 為例之金線應力應變分佈 ...	51
圖 4-6 type1 下改變熱源個數及間距之溫度結果.....	52
圖 4-7 100X6 結構上金線尺寸.....	52
圖 4-8 100X10 結構上金線尺寸.....	53
圖 4-9 100X2 結構之溫度結果.....	53
圖 4-10 100X2_GG50 結構之熱應力應變結果 .....	54
圖 4-11 100X2_GG100 結構之熱應力應變結果.....	54
圖 4-12 100X2_GG100-type4 之溫度場分佈.....	54
圖 4-13 100X6 結構之溫度結果.....	55
圖 4-14 100X6_GG50 結構之熱應力應變結果.....	55

圖 4-15 100X6_GG100 結構之熱應力應變結果.....	56
圖 4-16 100X10 結構之溫度結果.....	56
圖 4-17 100X10_GG50 結構之熱應力應變結果 .....	57
圖 4-18 100X10_GG100 結構之熱應力應變結果.....	57
圖 4-19 充入填膠之結構圖.....	57



## 符號表

$c_p$	等壓比熱
$[d]$	自由度
$E$	彈性係數
$\bar{F}$	外力項
$\{f\}$	作用在節點上的力
$G$	剪力係數
$\bar{g}$	重力項
$h$	焓
$h_{coc}$	熱對流係數
$I$	單位張量
$k$	熱傳導係數
$[k]$	剛度矩陣
$k_f$	工作流體之熱傳導係數
$k_s$	固體之熱傳導係數
$k_{s1}$	固體 1 之熱傳導係數
$k_{s2}$	固體 2 之熱傳導係數
$P$	靜態壓力
$q$	熱通量
$S_h$	熱源項
$T$	溫度
$t$	時間
$\bar{v}$	速度向量
$\alpha$	熱膨脹係數
$\varepsilon_x$ 、 $\varepsilon_y$ 、 $\varepsilon_z$	X、Y、Z 三方向之應變
$\gamma_{xy}$	XY 平面剪應變
$\gamma_{xz}$	XZ 平面剪應變
$\gamma_{yz}$	XZ 平面剪應變
$\theta_f$	流體溫度差
$\theta_s$	固體溫度差
$\theta_{s1}$	固體 1 溫度差
$\theta_{s2}$	固體 2 溫度差
$\theta_{sf}$	固體與流體間溫度差
$\mu$	黏滯係數

$\nu$	浦松比
$\rho$	密度
$\sigma$	應力
$\sigma_e$	等效應力
$\sigma_x$ 、 $\sigma_y$ 、 $\sigma_z$	X、Y、Z 三方向之應力
$\sigma_y$	降伏應力
$\tau_{xy}$	XY 平面剪應力
$\tau_{xz}$	XZ 平面剪應力
$\tau_{yz}$	YZ 平面剪應力
$\Phi$	黏性消散項

### 下標

$coc$	熱對流係數
$f$	流體
$h$	焓
$p$	等壓
$s$	固體
$s1$	固體 1
$s2$	固體 2
$sf$	固體和液體介面



# 第一章 緒論

## 1-1 前言

電子構裝屬於半導體產業的後段製程技術，因此電子構裝普遍被認為只是積體電路(IC)製程技術的配角之一。事實上構裝技術的範圍涵蓋相當廣泛，它運用了物理、化學、機械、材料、電機、電子等相關知識學門。近年來，微電子產品效能不斷追求提昇及新一代科技產品的開發，電子構裝需具有外型短小輕薄(圖1-1)[1]，高可靠度、散熱性佳與低製造成本等特性，並面對產品上市時程與生命週期短、跨研究領域與專利保護等挑戰，各項構裝技術的重要性已不亞於積體電路製程技術與其它微電子相關製程技術。

由於系統與元件的效能不斷提高，再加上其設計方式與選用材料亦愈加複雜，因此在封裝製程上也面臨諸多挑戰。系統與元件的發熱密度不斷增加，過熱問題日益嚴重，造成產品的可靠度降低及壽命減少(圖 1-2)[2]。IC 封裝成品因熱應力產生翹曲變形，輕則影響產品外觀，嚴重則產生脫層或造成金線損害，並使晶片產生裂縫以致損毀無法使用。所以散熱及熱應力問題也就成為半導體產業在構裝技術上的一大挑戰。

## 1-2 GaN HEMT

### 1-2-1 氮化鎵(Gallium Nitride ; GaN)

在半導體產業的發展中，通常將元素半導體如矽、鍺等稱為第一代半導體材料；化合物半導體如砷化鎵、磷化銦、磷化鎵、砷化銦、砷化鋁等稱為第二代半導體材料；而將寬能隙(Bandgap)( $E_g > 2.3\text{eV}$ )的氮化鎵、碳化矽、硒化鋅等化合物半導體稱為第三代半導體材料，三代半導體材料其代表品種分別為矽(Si)、砷化鎵(GaAs)和氮化鎵(GaN)。氮化鎵是III-V族元素化合的化合物，具有寬能隙( $E_g = 3.3\text{eV}$ )、高發光效率、高熱導率、耐高溫、可承受高電壓、抗輻射和耐腐蝕等特性而被廣泛的應用，應用市場可以分為兩個部分：(1) 憑藉GaN半導體材料在高溫高頻、大功率工作條件下的出色性能，取代部分矽和其它化合物半導體材料市場；(2) 憑藉GaN半導體材料寬能隙、激發藍光的獨特性質開發新的光電應用產品。由於GaN半導體材料在高功率電晶體，半導體照明、軍事等領域有顯著且廣闊的應用前景，因此，以GaN為代表的第三代半導體材料已被譽為IT產業新的發動機。

### 1-2-2 高電子遷移電晶體(High Electron Mobility Transistor ; HEMT)

過去全球半導體發展重心都是以矽為材料基礎，但由於矽元素先天的物理限制，使其在極高頻應用上受到相當大的阻礙，然而近兩三年來，無線高頻通訊的產品發展迅速，使得III-V族化合物半導



體得以脫穎而出，大量的應用在高頻率、高效能、高增益、低雜訊的電晶體上。III-V的電晶體大致可分為兩大類：第一類為異質接面雙極電晶體(Heterojunction Bipolar Transistor; HBT)；另一類為場效電晶體(Field Effect Transistor; FET)。而 FET 又可分為下列幾種：

- (1) 金屬－半導體場效電晶體(MESFET)
- (2) 高電子移動率電晶體(HEMT)
- (3) 參雜式通道場效電晶體(DCFET)
- (4) 金屬－氧化物－半導體場效電晶體(MOSFET)

GaN在速度與操作功率上令人驚豔的表現，多年來已為人所知，利用這種材料做成的電晶體的潛力也大有可為，因此美國軍方以及其他機構也持續贊助其發展。本研究即採用以氮化鎵電晶體結構的功率放大器(Power Amplifier ; PA)(圖 1-3)[3]做為模型，探討其熱傳及熱應力(Thermal Stress)問題。

## 1-3 電子構裝簡介

### 1-3-1 電子構裝的目的

積體電路是在一個小面積的晶片上構築非常多的電路和電子元件，他們的尺寸都非常細微且精密。而電子構裝，就是一種將這些集

成電路用絕緣的塑膠或陶瓷材料打包起來。構裝對於晶片來說是必須的，因為晶片必須與外界隔離，以防止空氣中的雜質對晶片電路的腐蝕而造成電器性能下降；另一方面，構裝後的晶片也更能便於安裝和運輸。構裝也可以說是半導體集成電路晶片的外殼，它不僅有安放、固定、密封、保護晶片和增強導熱性能的作用，同時也是溝通晶片內部世界和外部電路地橋樑，因此對於半導體產業來說，電子構裝技術是非常關鍵的一環。總結上述而言，電子構裝主要有下列四大功能：

(1) 保護晶片電子元件功能

(2) 固定晶片各部元件功能

(3) 增強晶片整體散熱功能

(4) 晶片內外訊號傳輸功能



### 1-3-2 覆晶構裝(Flip Chip; FC)

覆晶技術起源於 1960 年代由 IBM 公司所開發，當時主要的目的是以控制接點高度為主的技術，並命名為 C4(Controlled Collapse Chip Connection)技術。對於覆晶廣義的定義即是指，只要晶片的正面(電路面)翻轉向下，無論利用何種技術、材料，將晶片與基板做連接，皆可稱為覆晶構裝(圖 1-4)。覆晶構裝技術是利用電鍍或印刷的方式將鉛錫(Solder)長在 IC 腳墊上，經回焊(Reflow)形成錫球，再利用覆晶接合機台(Flip Chip Bonder)精確對位後與基板接合。綜

合以上所述覆晶構裝有以下的優缺點，覆晶技術的優點有：

- (1) 具有高輸入/輸出數
- (2) 基板面基小
- (3) 良好的電氣特性
- (4) 一次完成輸入/輸出接腳
- (5) 簡化組裝降低成本

在缺點方面有：

- (1) 不易重工(Rework)
- (2) 不易檢測
- (3) 凸塊製作複雜，製程設備昂貴



### 1-3-3 球格陣列構裝(Ball Grid Array ; BGA)

BGA 構裝係指單一晶片或多晶片以打線接合、自動捲帶接合或覆晶接合的方式與基板上的導線相連接，基板本身以面積陣列方式分佈的錫球做為積體電路與外連接的接點，而 BGA 在分類上，主要是以基板所使用的材料為依據，可分為 PBGA(Plastic BGA)、CBGA(Ceramic BGA)、TBGA(Tape BGA)與 MBGA(Metal BGA)四種。BGA 構裝的設計是將原先 QFP 構裝對外連接的導線架，改為位於基板腹底的鉚錫接腳，這種以錫球接合方式，既可疏散腳距又可增加腳數。BGA 構裝有以下的優點：

- (1) 可提供小面積高密度的表面黏著構裝
- (2) 回焊時錫球能自我對準，減少對位誤差造成生產上的損失
- (3) 焊接溫度低，散熱也較容易
- (4) 良率較高、電氣特性佳及成本低
- (5) BGA 與 SMT 製程和現有製程相容，具有高生產率

#### 1-4 文獻回顧

今日的電子元件效能不斷提昇，其結構亦複雜許多。熱問題一直是值得我們探討的，另外由於構裝元件材料特性不同，造成各材料熱膨脹係數(Coefficient of Thermal Expansion; CTE)的差異，連帶產生出形變破壞的問題，熱應力問題也日趨重要。Teng 等人[4]的研究中，他們在 RF 通訊電路覆晶構裝模擬時，分析藉由改變晶片、基板以及凸塊材料以增加其散熱效果。Das[5]等人經由設定不同型式的熱傳凸塊來改善熱問題，模擬結果顯示將凸塊在不影響電信特性下盡可能地靠近主動區域將得到最好的散熱效果。Edwards[6]等人提出各種改善熱效應的方法，包含改變幾何形狀，選用熱傳係數較高的材料等來提高散熱性。Amagai[7]以 ANSYS 有限元素分析軟體作 CSP (Chip Scale Package) 電子構裝元件錫球部份的可靠度分析，研究結果顯示：晶片尺寸、晶片填膠材料、構裝本體尺寸及錫球數，皆會影響可

靠度。Bougataya 等人[8]先利用 CFD 軟體進行模擬以求得構裝體的等效熱對流係數，再以 FEM 軟體來模擬構裝體的變形行為。Lau[9]指出覆晶構裝當中易發生破裂(Crack)之處位於凸塊，且伴隨幾何形狀改變，應力集中的位置也會不同。此外，Lau 也指出以線性材料來分析覆晶構裝較為不合理，其原因在於一但材料產生應力超過其降伏點，則線性材料行為應力值會遠大於非線性材料行為之應力值。Yeh[10]利用有限元素法探討覆晶設計參數變化對於封裝體結構之應力與應變的影響，其研究主要是以改變晶片、基板和底部填膠填充之幾何尺寸並考慮材料特性，以期得到最佳的結構設計。



## 1-5 研究動機與目的

過量的熱會減少產品的壽命，對應的元件在較低的溫度下可提供較高的性能，這也是熱問題日益受到重視的原因。為了平衡產品的成本、性能及可靠度，我們從散熱的改善與分析著手，評估熱傳特性的方法可分為實驗和數值模擬兩種，由於實驗耗費的時間及成本均高而且修改不易，往往實驗方法僅用來做分析模式之驗證及最後設計的確認，一般來說前段設計工作均由模擬分析來執行。因此我們先利用商用套裝軟體 ICEPAK 以流-固耦合場分析(Coupled Field Analysis)構裝體的溫度分佈，並設計不同的構裝型式，改變熱傳凸塊的位置及

形狀等討論其結果，接著利用有限元素(Finite Element)軟體 ANSYS 進行熱－固耦合計算構裝體的應力值，如此將流場、熱場、三方面耦合以期能更精確的求得模擬結果。



## 第二章 物理模式與數學模式

### 2-1 物理模式

本研究所考慮之覆晶構裝模型尺寸如表 2-1，模型幾何圖及實體結構圖如圖 2-1、2-2，以氧化鋁(Sapphire)為基板，上層有一材料為氮化鎵(GaN)的磊晶層，傳輸訊號之 wire 以擁有較好的電信性質與不錯熱傳性質的 Au 當作材質，再以覆晶的方法將其接合(Bonding)在氮化鋁(AlN)的基底上。模擬中所要用到的材料性質如表 2-2 所示。整個分析流程有二個部份，其物理模式詳敘如下：

#### (一) 計算晶片溫度場

設定存在一外流場，並將晶片置於其中以計算晶片作用下之穩態熱傳分析。工作流體採用空氣並給定流體性質，外流場設定為自然對流，停滯壓力與外界溫度皆固定，計算晶片工作溫度場。

#### (二) 計算熱應力值

將(一)求得之晶片溫度場代入 ANSYS 中進行熱-固耦合分析，給定初始溫度、邊界溫度，材料性質，並設定對稱面、拘束點和拘束面，以計算熱應力值及其變形量。

此外，為使問題簡化，且不失其真實性，本研究分析時做了下列假設：

- (1) 材料為均質(Homogeneous)且等向性(Isotropic)

- (2) 各材料層間為完美黏著
- (3) 材料性質皆不隨溫度變化
- (4) 工作流體為不可壓縮流(Incompressible)且流動模式為層流(Laminar Flow)

## 2-2 熱傳數學模式

熱傳數學模式可分為暫態熱傳與穩態熱傳兩部份。

### 2-2-1 暫態熱傳數學模式

在降溫過程模擬分析中，以三維暫態熱傳導公式表示，如下式：

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) \quad (2-1)$$

其中  $\rho$  為密度(Density)； $c_p$  為等壓比熱(Specific Heat)； $k$  為熱傳導係數(Conductivity)。

### 2-2-2 穩態熱傳數學模式

在計算流體力學部份，以物理現象來區分我們可以將其分為下列之部份個別討論：流體區域(Fluid Domain)、固態區域(Solid Domain)與液-固交接區域(Interface Between Fluid And Solid)以及熱源(Heat Source)處理方式。

#### 2-2-2-1 流體區域

計算流體力學是以統御方程式來描述實際的物理現象，其包括連



續、動量、能量方程式，可表示如下：

$$\text{連續方程式： } \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (2-2)$$

$$\text{動量方程式： } \frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla P + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2-3)$$

$$\text{能量方程式： } \frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot (\rho h \vec{v}) = \nabla \cdot [k \nabla T] + \vec{v} \cdot \nabla P + \Phi + S_h \quad (2-4)$$

其中  $g$  表重力 (gravity)； $P$  為靜態壓力 (Static Pressure)； $\vec{F}$  為外力項 (Force Term)， $\Phi$  表示黏性消散項 (Viscous Dissipation)，本文工作流體為空氣考慮自然對流，因為自然對流為低速流因此可忽略

[11]， $h$  表示熱焓值， $S_h$  表示熱源項 (Source Term)，在本研究中我們將熱源視為作用在平面上的熱通量，故在能量方程式中並無熱源

項，並以邊界條件解之， $\vec{\tau}$  表是因黏滯力所引起的應力張量 (Stress

Tensor)，可表示如下式：

$$\vec{\tau} = \mu \left( \nabla \vec{v} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right) \quad (2-5)$$

其中  $I$  為單位張量 (Unit Tensor)。

經過整理之後，流體區的統御方程式如下面表示：

$$\text{連續方程式： } \nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (2-6)$$

$$\text{動量方程式： } \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla P + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} \quad (2-7)$$

$$\text{能量方程式： } \nabla \cdot (\rho h \vec{v}) = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (2-8)$$

### 2-2-2-2 固體區域

固態區所表現之物理模式可用一般三維穩態熱傳導方程式：

$$0 = (\nabla^2 T) = \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2-9)$$

### 2-2-2-3 液固介面區域

在液固介面區要維持能量守衡，亦即

$$k_f \frac{\partial \theta_f}{\partial Y} = k_s \frac{\partial \theta_s}{\partial Y} = h_{coc} \theta_{sf} \quad (2-10)$$

其中  $k_f$  為工作流體之熱傳導係數； $k_s$  為固體之熱傳導係數； $h_{coc}$  為熱對流係數(Coefficient of Convection)。

### 2-2-2-4 熱源處理

由於本文中所採用之構裝體，每一熱源皆為一長條形平面，面積為  $2.5 \times 100 \mu m^2$ ，發熱量為  $0.3W$ ，於是我們將熱源部份以邊界條件處理，因此在式(2-3)之能量方程式中並無  $S_h$  項，而以熱通量(Heat Flux)方式在發熱面上設定負載邊界條件，並遵守能量守恆定律，如下式：

$$k_{s1} \frac{\partial \theta_{s1}}{\partial y} = k_{s2} \frac{\partial \theta_{s2}}{\partial y} + q \quad (2-11)$$

式中  $s1$ 、 $s2$  分別代表兩種不同之固體， $q$  表示在固體-固體間的熱源項。

### 2-2-3 交錯式網格系統

當我們在計算一不可壓縮流的流場狀態時，主要的困難點發生在處理流場中不可預知的壓力梯度，而壓力梯度是構成動量方程式中的一部份，對於一個已給定的壓力場，求解動量方程式沒有特別的困難，然而如何有效地去確定一個壓力場則是非常模糊的。不幸的，沒

有明顯的方程式可代替這個壓力場。因此，早期有很多先進致力研究與求解這個問題，其中以Patankar與Spalding所提出的SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations) 半隱性壓力連結法於當時為最出名的一個方法 [12]。SIMPLE 演算法為壓力解成功使連續性方程式轉變成直接演算法。而由於SIMPLE 演算法的收斂率 (Convergence Rate) 較為緩慢，為了提高使用效率，一些相關的數值演算法如SIMPLER [13]、SIMPLEC [14]、SIMPLEST [15]、SIMPLEM [16]、PISO [17]、PRIME [18] 和SIMPLEX [19] 等則陸續出現，另外，他們都只能被使用在交錯式網格(Staggered Cell)(圖2-3)，其主要優點是能夠避免產生一個無法控制的棋盤壓力(Checkerboard Pressure)(圖2-4)。

以ICEPAK而言，計算的區域 (Solution Domain) 是以有限體積法來作切割，其網格以直角座標來切割成數個小的控制體積。而使用的數值計算方式是以SIMPLE 法來進行疊代運算。

### 2-3 熱應力與熱變形數學模式

有限元素法的基本構想是將一個 body 切割成很多的元素，每一個元素可以建立它的力平衡方程式。元素的力平衡方程式型式如下：

$$[k]\{d\} = \{f\} \quad (2-12)$$

其中{d}是元素節點上的自由度，在結構分析中自由度為變位(圖

2-5)， $\{f\}$ 的物理意義是作用在節點上面的力，那麼 $[k]$ 的物理意義則是每單位的變位量所需要的力量，這就是剛度(Stiffness)的定義，所以 $[k]$ 稱為元素的剛度矩陣(Stiffness Matrix)。每一個元素都有如(2-11)的方程式，把所有元素的力平衡方程式聯立起來為整體結構的力平衡方程式求得變位場，再透過應變—變位的關係求得應變場，最後由應力—應變關係求得應力場。

### 2-3-1 彈性線性材料

其應變與變位存在以下關係：

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x} \quad (2-13)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial u_y}{\partial x} \quad (2-14)$$

$$\varepsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial x} \quad (2-15)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \quad (2-16)$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \quad (2-17)$$

$$\gamma_{zx} = \frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \quad (2-18)$$



以上純粹是一種幾何關係，而不涉及任何物理現象。可以取一個微小的元素，從其幾何關係導出這樣的關係出來。

在線性彈性材料中，應力與應變的關係即是我們熟知的虎克定律(Hooke's Law)可如下式表示，而考慮受熱應力變化之彈性體而言，應變量加以修正：

$$\varepsilon_x = \alpha\Delta T + \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu\sigma_y}{E} - \frac{\nu\sigma_z}{E} \quad (2-19)$$

$$\varepsilon_y = \alpha\Delta T - \frac{\nu\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\nu\sigma_z}{E} \quad (2-20)$$

$$\varepsilon_z = \alpha\Delta T - \frac{\nu\sigma_x}{E} - \frac{\nu\sigma_y}{E} + \frac{\sigma_z}{E} \quad (2-21)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad (2-22)$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G} \quad (2-23)$$

$$\gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G} \quad (2-24)$$

解上式聯立方程式我們得到

$$\sigma_x = \frac{E}{\omega}(1-\nu^2)(\varepsilon_x - \alpha\Delta T) + \frac{E}{\omega}(\nu + \nu^2)(\varepsilon_y - \alpha\Delta T) + \frac{E}{\omega}(\nu + \nu^2)(\varepsilon_z - \alpha\Delta T) \quad (2-25)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{\omega}(\nu + \nu^2)(\varepsilon_x - \alpha\Delta T) + \frac{E}{\omega}(1-\nu^2)(\varepsilon_y - \alpha\Delta T) + \frac{E}{\omega}(\nu + \nu^2)(\varepsilon_z - \alpha\Delta T) \quad (2-26)$$

$$\sigma_z = \frac{E}{\omega}(\nu + \nu^2)(\varepsilon_x - \alpha\Delta T) + \frac{E}{\omega}(\nu + \nu^2)(\varepsilon_y - \alpha\Delta T) + \frac{E}{\omega}(1-\nu^2)(\varepsilon_z - \alpha\Delta T) \quad (2-27)$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} \quad (2-28)$$

$$\tau_{yz} = G\gamma_{yz} \quad (2-29)$$

$$\tau_{zx} = G\gamma_{zx} \quad (2-30)$$

其中

$$\omega = 1 - 3\nu^2 - 2\nu^3 \quad (2-31)$$

事實上以上三個材料參數並非獨立的，有下列關係式存在

$$G = \frac{E}{2(1-\nu)} \quad (2-32)$$

### 2-3-2 非線性彈塑性材料

覆晶構裝中最重要的是負責傳輸訊號的凸塊以及金線，一但他們

受到損壞，則整個構裝體將失去效用，所以我們為了能更準確模擬凸塊與金線的應力行為，考慮二者為塑性材料。

當一材料承受應力而造成其主應力(Principle Normal Stress)在降伏應力(Yield Stress)之內，則稱此材料尚在彈性規範內；反之，若其主應力在降伏應力之外，則此材料進入塑性範圍(圖 2-6)。

計算結果將會有三個軸方向應力及三個方向剪應力如圖 2-7，為了方便討論，首先定義預測材料破壞的降伏規範，本文採用 ANSYS 內建的 von Mises 降伏規範，當材料承受負載時，對於多軸應力可以用一等效應力  $\sigma_e$  表示之，其代表物體上六個應力所組成之等效應力，如下式：

$$\sigma_e = f(\{\sigma\}) = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]} \quad (2-33)$$

等效應力超過降伏應力  $\sigma_y$ ，即材料變形行為進入塑性變形區，此時材料若再繼續受到連續變化的應力負載，則有兩種理論來定義其降伏應力；一種是等向強化準則(Isotropic Hardening Rule)，另一種為隨動強化準則(Kinematic Hardening Rule)，這兩種理論的差別如(圖 2-8)[20]所表現；當一材料進入塑性變形區經卸載後再承受一應力，此時等向強化準則主張增加降伏面大小，但不改變降伏面位置來做應對；而隨動強化準則主張不改變降伏面大小，僅改變降伏面位置的方式來對應。

我們選用 ANSYS 內建經典的雙線性隨動硬化塑性(Bilinear

Kinematic Hardening Plasticity ; BKIN)[21]理論來進行模擬分析，該模型使用一個雙線性來表示應力－應變曲線，所以有二個斜率，彈性斜率和塑性斜率，需要輸入的材料參數是降伏應力和切變模數(Tangent Modulus)。



## 第三章 數值模擬

電子計算機科學為近代最新發展之科學，利用電子計算機可使數學上複雜的分析計算獲得迅速的解決，大量節省人力與時間，並能達到有效的精確度，對未來科學的研究有極大的影響性。本文即利用商用套裝軟體 ICEPAK 與 ANSYS 來進行熱分析，數值模擬的架構一般可分為三個流程：即前處理(Pre-Processing)，此部分主要是在建構分析之模型，選用適當的網格元素，定義分析時所需要的材料及物理性質等特性，因此前處理可視為描述數值分析之物理意義的重要階段；分析求解(Solve)，在模擬軟體的設計概念上，此部份為最重要的核心部份，在前處理所產生的模型，將在此一模組中進行分析；後處理(Post-Processing)，其最主要的任務乃是將分析的結果以圖形或文字等形式表現出來，以作為判斷分析之用。整體的模擬分析流程如圖 3-1 所示。

### 3-1 ICEPAK 計算晶片溫度

#### 3-1-1 前處理

##### (1) 軟體基本參數選定

選用穩態分析、層流模式、自然對流等模組，考慮熱輻射與重力效應。



## (2) 建立實體模型

建立外流場以及其中的構裝體模型(圖 3-2)，外流場的設置是以構裝體尺寸的三至五倍為原則，不適當的尺寸會影響計算時間及數值收斂的速度。

## (3) 設定材料性質

外流場部份利用軟體內部資料庫直接給定工作流體種類，構裝體材料則給定熱傳導係數、密度、比熱等性質。

## (4) 分割網格

網格的空間分佈及數量多寡主要有準確性、數值穩定和計算時間等三大考量。我們以 3-D 六面體網格(Hexahedra)來做切割將有較佳的品質，在 ICEPAK 的網格建構中，是針對 X、Y、Z 三方向之網格最大邊長來做設定，定義邊長後，電腦將自動生成網格，經過反覆網格測試，最後我們選用網格最大邊長  $200\ \mu\text{m}$  來做為網格劃分依據(圖 3-3)，並在金線和熱源處等細微部分做微小分割(圖 3-4)，期望能獲得較佳的準確性，網格數約為 45 萬左右。

## (5) 設定負載與邊界條件

給定晶片下方熱源處每一熱源生成量皆為 0.3 瓦，另設定外流場的錶壓力(Gauge Pressure)為 0 與流體溫度為  $25^{\circ}\text{C}$ 。

### 3-1-2 求解分析

### (1) 收斂監控

在軟體中分別對流場(壓力、速度)及溫度場(溫度、熱流量)進行計算收斂值監控，收斂條件個別設定為 $10^{-6}$ 與 $10^{-7}$ 。

### (2) 求解計算

運用有限體積之 SIMPLE 技巧，進行計算，計算時間約為 8 小時。

## 3-1-3 後處理

可查看溫度、等溫線、壓力、速度等分佈圖(圖 3-5)。

## 3-2 ANSYS 計算熱應力

### 3-2-1 重建晶片溫度場

將 ICEPAK 求得之晶片溫度場在各個平面上選取關鍵點溫度代入 ANSYS 重新計算晶片溫度場。



#### 3-2-1-1 前處理

##### (1) 選擇主要分析功能

選用 Thermal 與 Structure 功能。

##### (2) 建構實體模型

以 Top-Down 方式，直接建立體積再經布林運算(Boolean Operate)組合而成模型，建立二分之一之對稱模型(圖 3-6)。

##### (3) 選擇有限元素

選用 Solid90 熱分析元素(圖 3-7)[22]，其節點擁有溫度之單一自由度，並且可以退化成多種低階元素，以利我們稍後進行熱-固耦合分析時可直接轉換為 Solid95 結構分析元素。

#### (4) 給定材料性質

給定材料之比熱、熱傳導係數、密度、浦松比、彈性模數以及熱膨脹係數等熱傳及機械性質。另外，針對塑性材料則需另外給定切變模數與降伏應力。

#### (5) 建立網格

實體模型網格化的功能可分為自由網格(Free Mesh)與規則網格(Mapped Mesh)。我們藉由控制網格尺寸進行網格測試，其中我們針對構裝體較易發生破壞的金線及凸塊部份做加密的網格劃分，以增加計算可信度。經過測試我們選用  $20\ \mu\text{m}$  的尺寸做為網格化分依據，總網格數在 5 萬左右(圖 3-8)。在此步驟中，我們也將給定各個體積之選用材料。

#### (6) 給定負載與邊界條件

將 ICEPAK 所計算溫度場結果以邊界溫度負載方式代入 ANSYS 之構裝體模型表面。

### 3-2-1-2 求解分析

#### (1) 分析型態之訂定

分析型式為穩態模擬分析。

## (2) 收斂監控

ANSYS 在求解過程中將內定 15~26 次疊代，此外我們分別對溫度、熱流量等物理量進行收斂監控，即設定收斂監測值為 $10^{-8}$ ，如果以上其中一項在設定的疊代次數內無法收斂，則終止計算。

(3) ANSYS 提供兩種不同型態的解法，分別為直接解法(Direct Elimination Solvers)與疊代解法(Iterative Solvers)；直接解法是透過一些矩陣拆解的技巧，再以代入的方式將未知數求出，適合用於線性靜態問題，但本研究之材料性質有考慮到非線性性質，加上求解速度上的考量，因此選用疊代解法中的預條件共軛梯度(Preconditioned Conjugate Gradient；PCG)解法，此解法對於模型具有多重物理性質時有較佳的求解速度與品質。

## (4) 求解

進行計算，計算時間約 1 小時。

### 3-2-1-3 後處理

在這個部份我們可以得到溫度場的分佈圖，並與 ICEPAK 所得之溫度場進行比較(圖 3-9)。

### 3-2-2 計算熱應力值

#### 3-2-2-1 前處理

### (1) 轉換分析元素

將熱分析元素 Solid90 轉換為結構分析元素 Solid95。Solid90 為熱分析元素，僅用於熱傳分析的模擬中，故只有溫度之自由度，為了進一步分析結構場，必須加入位移量之自由度，而元素 Solid95 除了外形與 Solid90 相同，並擁有一三方向位移量的自由度。

### (2) 設定負載和邊界條件

將 3-1-1 計算所得到之穩態溫度場以負載方式代入模型，並設定對稱面之對稱邊界條件以及考慮基板底面對稱中心節點三方向 (X, Y, Z) 位移量為零，基板底面 Z 方向位移量為零(圖 3-10)。



## 3-2-2-2 求解分析

### (1) 收斂監控

以溫度、位移、受力等物理量為收斂監控，在此我們將收斂監測值設定為 0.001。

### (2) 選定計算方式


同樣以 PCG 法求解，計算時間約 1 小時。

## 3-2-2-3 後處理

可觀看應力、應變、位移量、von Mises 等效應力等分佈圖(圖 3-11)。

## 第四章 結果與討論

為了改善散熱問題，我們設計了一系列的構裝型式進行模擬分析，針對熱源的個數、熱源的間距以及變化凸塊型式進行參數調整。我們以 2 條熱源間距  $50\ \mu\text{m}$  之構裝體出發，增加熱源數為 6 及 10，加大熱源間距至  $100\ \mu\text{m}$ ，另外就凸塊部份設計了 4 種型式(圖 4-1、4-2)，type1 為一般型，6 個凸塊分佈在上金線六個角落，以矩形方式排列；type2 將凸塊數減少為 4 個，而其中 2 個凸塊相當靠近二側熱源，以菱形方式排列；type3 規則如 type2，並增加了 Drain 側的凸塊體積；而 type4 之凸塊體積以幾乎佈滿了上金線面積為設計。全體模擬案例如下：


$$100 \times \begin{bmatrix} 2 \\ 6 \\ 10 \end{bmatrix} - \text{GG} \begin{bmatrix} 50 \\ 100 \end{bmatrix} - \text{SD5-type} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

以上式 24 個案例進行數值計算，並討論其上金線處之溫度場分佈(圖 4-3)，命名規則如圖 4-4 之說明。而熱應力部份，從後處理的圖我們可以看到最大應力值會落在金線且應力值均大於降伏應力，變形進入塑性區；應變方面，拘束點的位移為零漸漸地向外伸展，最大位移量在構裝體兩側，所以我們僅針對構裝中較易發生破壞處的金線部份進行討論(圖 4-5)。完整模擬結果整理於表 4-1。

## 4-1 熱源個數及間距對熱傳之影響分析

此節我們固定凸塊型式為 type1，並設定改變熱源個數(2、6、10)及熱源間距( $50\ \mu\text{m}$ 、 $100\ \mu\text{m}$ )來探討其熱傳分析結果。由圖 4-6 我們可以看到在每條熱源發熱瓦數皆為  $0.3\text{W}$  的條件下，熱源數愈多總發熱量也愈多，結構溫度也相對的提高；另外在熱源間距拉大的情況下，減少了因二熱源太過接近而交互影響的加成效果，使得溫度有明顯的下降趨勢。另外值得注意的一點，在設計的過程為了增加熱源以及拉大熱源間距而迫使我們必須增加金線的表面積，連帶的晶片以及基底接觸表面積皆一併增加，造成整體結構體積增加。2 條熱源的結構上金線的尺寸皆為  $500\ \mu\text{m}\times 500\ \mu\text{m}$ ；6 條熱源間距  $50\ \mu\text{m}$  同樣也為  $500\ \mu\text{m}\times 500\ \mu\text{m}$ ，但間距  $100\ \mu\text{m}$  之結構即增加至  $700\ \mu\text{m}\times 500\ \mu\text{m}$ (圖 4-7)；又 10 個熱源間距  $50\ \mu\text{m}$  為  $700\ \mu\text{m}\times 500\ \mu\text{m}$ ，間距  $100\ \mu\text{m}$  增加為  $1200\ \mu\text{m}\times 500\ \mu\text{m}$ (圖 4-8)，我們發現隨著熱源數的增加，增加熱源間距的結構溫度下降的幅度也有所提升，這是因為體積的增加，提供熱傳的材料也增加的緣故。

## 4-2 100X2 結構之熱傳及熱應力分析

接著我們以 2 條熱源結構之熱傳結果進行討論，在此結構的八

個案例中(圖 4-9)，同樣地，我們發現在拉大熱源間距下四種凸塊型式皆能有效的降溫。以下我們針對每一凸塊型式逐一討論，type1 為一般型；type2 少了二個熱傳凸塊，但因為其中二個凸塊較接近二側熱源有較短的導熱路徑，計算結果溫度反而較低，但差距不是很明顯；type3 不只增加了 Drain 處的凸塊體積，二側的凸塊設計也更靠近二側熱源，因此 type3 有很顯著的降溫效果；type4 是凸塊體積最多的一個案例，所以熱傳效果最好溫度最低。另外我們發現在改善散熱問題時，改變凸塊型式之效果比拉大熱源間距來的好。在熱應力部分(圖 4-10)，我們可以看到應力值在 type4 皆有劇升的趨勢，這是因為此案例凸塊的結構最複雜體積也最大，相對受到推擠與拉扯的力量最大，容易造成應力集中，另外由於在兩熱源內側及外側皆有熱傳凸塊向下快速地導熱，造成在熱源兩側之金線溫度梯度變化劇烈(圖 4-11)，這也是造成應力值上升的原因。在應變方面(圖 4-12)，可以看到在 type1 及 type4 是較大的，這是因為位移量主要是由物體受熱膨脹所造成，只要物體的體積或溫度變化愈大，則變形量也會相對提高。

### 4-3 100X6 結構之熱傳及熱應力分析

6 條熱源結構之案例(圖 4-13)，各案例的溫度均高於 2 條熱源結



構，間距  $50\ \mu\text{m}$  的結構溫度也高於間距  $100\ \mu\text{m}$  的結構。值得注意的是 type2 的結構，因為少了 2 個熱傳凸塊，雖然二側凸塊相當靠近外側熱源而能夠快速的導熱，但對內側四個熱源來說，比起 type1 的案例其熱傳的路徑變的較遠散熱較慢，因此在六個熱源的結構，type2 的散熱效果比 type1 差，溫度較高，type3、type4 如同上節之結構皆能有效地降低溫度。熱應力部份，因為結構溫度都有所提高，應力值也都較大，同樣在 type4 的案例有最大的應力及應變值(圖 4-14、4-15)。

#### 4-4 100X10 結構之熱傳及熱應力分析

10 條熱源結構之案例(圖 4-16)，整體溫度是最高的，溫度的趨勢大致與 6 條熱源之結構相似。type2 結構之溫度也高於 type1，且由於 10 條熱源結構其內側熱源數較多，所以高出的差距也較大。另外我們發現在所有案例的 type4 結構中，其最高溫度大都在二百度左右，不因熱源數較多而有較高的溫度，這是因為在 type4 的設計中，針對每一熱源的兩側皆有熱傳凸塊，使得熱能直接且迅速地向下傳導，雖然發熱量有所提升但溫度差異不太，這也證明了熱傳凸塊愈靠近熱源將會有最好的散熱效果，使得 10 條熱源的四個結構案例有最大的溫差。在熱應力應變部份(圖 4-17、4-18)，由於溫差過大的原

因，造成形變主要的因素是結構體積還是溫度變化問題，並不明確，使得在 10 條熱源部份應力與應變沒有明顯的趨勢。

#### 4-5 充入填膠結構之熱傳及熱應力分析

我們將 100X2\_GG50\_SD5-type1 結構充入填膠探討其熱傳及熱應力問題(圖 4-19)，熱傳方面，有填膠結構之晶片溫度低於無填膠結構，這是因為填膠提供了導熱的路徑增加散熱；應力方面有填膠結構之應力值小於無填膠結構，填膠是一聚合物材料他可提供受力時的緩衝，進而降低應力值，達到保護晶片的功能。



## 第五章 結論與未來展望

### 5-1 結論

本文針對微波高功率覆晶構裝體來分析熱傳及熱應力問題，在不同設計參數下經數值模擬計算以探討其散熱能力及應力變化，詳細研究成果在上章已有討論與敘述，在此歸納以下結論：

- (1) 在成本與散熱效果考慮下，改變凸塊型式比拉大熱源間距有更好的散熱效率。
- (2) 僅考慮熱傳問題而言，熱傳凸塊的體積愈大，位置愈接近熱源處會有最好的散熱效果。
- (3) 在熱傳與應力的雙重考量下，整體來說 type3 是一較佳的選擇，擁有較低的溫度與應力值。

### 5-2 未來展望

在本文進行的數值模擬中，如何在熱傳及固力領域中取得一個平衡是重要的。同一結構中，溫度較高會有較大的應力值；而相同溫度下，結構複雜也會有較大的應力值，而這兩個參數在本文之研究何者才是關鍵呢？或許未來我們可以透過設計更多的熱傳凸塊，詳細地探討其中的影響，找出影響散熱效率及應力應變值最重要的因素。在熱傳方面，或許我們可以試著改變結構的材料，例如以較大熱傳導係

數的 Cu 材料代替 Au 做為凸塊的材料，以期得到較佳的散熱效果；固  
力方面，或許我們可以在晶片與基板中間加入填膠(Underfill)以改  
善應力過大的問題，這些種種問題在未來都是很值得去探討的。



## 參考文獻

- [1] 鍾文仁, IC封裝製程與CAE應用, 全華出版社, 2003
- [2] R. Tummala, Fundamentals of Microsystems Packaging, McGraw-Hill, 2002
- [3] 本城和彥, 微波通訊半導體電路, 全華出版社, 1996
- [4] S. Y. Teng, T. Y. Lee, “Thermal Evaluation-Driven Short-Cycle Re-Design”, IEEE-Electronic Components and Technology Conference, pp. 289-295, Motorola, Inc. 1997
- [5] J. Das, H. Oprins, “Improved Thermal Performance of AlGaIn/GaN HEMTs by Optimized Flip-chip Design”, IEEE transactions on electron devices, vol. 53, pp. 2696-2702, November 2006
- [6] DR Edwards, M Hwang, B Stearns, “Thermal Enhancement of Plastic IC Packages”, Packaging and Manufacturing Technology Part A, vol. 18, No. 1, pp. 57-67, 1995
- [7] M. Amagai, “Chip Scale Package (CSP) Solder Joint Reliability and Modeling”, Microelectronics and Reliability, Vol. 39, pp. 463-477, 1999
- [8] M. Bougataya, A. Lakhsasi, Y. Savaria, D. Massicotte, “Stress and Distortion Behavior for VLSI Steady State Thermal Analysis”, Electrical and Computer Engineering-IEEE CCECE 2003, Vol. 1, pp. 111-116, 2003
- [9] J. H. Lau, D. W. Rice, “Thermal Fatigue Life Prediction of Flip Chip Solder Joints by Fracture Mechanics Method”, Advances in

- Electronic Packaging ASEM, pp. 385-392, 1992
- [10] C. P. Yeh, “Parametric Finite Element Analysis of Flip Chip Reliability”, *The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging*, Vol. 19, pp. 120-127, 1996
- [11] Frank M. White, VISCOUS FLUID FLOW, McGraw-Hill, pp. 84, 1991
- [12] S. V. Patankar, D. B. Spalding, “A Calculation Procedure for Heat, Mass and Momentum Transfer in Three Dimensional Parabolic Flows”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol. 15, pp. 1787-1806, 1972
- [13] S. V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, pp. 131-134, Hemisphere Publishing Corporation, 1980
- [14] J. P. Van Doormaal, G. D. Raithby, “Enhancement of the SIMPLE Method for Predicting Incompressible Fluid Flows”, *Numerical Heat Transfer*, vol. 7, pp. 147-163, 1984
- [15] D. B. Spalding, “Mathematical Modeling of Fluid Mechanics, Heat Transfer and Mass Transfer Processes”, Mechanical Engineering Department Rep. HTS/80/1, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, UK, 1980
- [16] S. Acharya, F. Moukalled, “Improvements to Incompressible Flow Calculation on a Non-Staggered Curvilinear Grid”, *Numerical Heat Transfer B*, vol. 15, pp. 131-152, 1989
- [17] R. I. Issa, “Solution of the Implicit Discretized Fluid Flow Equations by Operator Splitting”, Mechanical Engineering Department Rep.

- FS/82/15, Imperial College, London, UK, 1982
- [18] C. R. Maliska, G. D. Raithby, “Calculating 3-D Fluid Flows Using Non-Orthogonal Grid”, Proc. Third Int. Conf. on Numerical Methods in Laminar and Turbulent Flows, Seattle, WA, pp. 656-666, 1983
- [19] J. P. Van Doormaal, G. D. Raithby, “An Evaluation of the Segregated Approach for Predicting Incompressible Fluid Flows”, ASME Paper 85-HT-9, National Heat Transfer Conf., Denver, CO, 4-7, August 1985
- [20] 王富恥, 張朝暉, ANSYS 10.0 有限元素分析理論與工程應用, 電子工業出版社, 2006
- [21] James M. Gere, Mechanics of Materials, Brooks/Cole, pp.145-150, 2001
- [22] ANSYS Analysis System User Guide Documentation, Version 9.0, 2004

## 表附錄

表 2-1 模型幾何尺寸表

	範圍	備註
Cabinet( $\mu\text{m}$ )	8000X8000X6000	Dry Air
晶片體積( $\mu\text{m}$ )	$\begin{bmatrix} 600 \\ 800 \\ 1300 \end{bmatrix}$ X600X100	sapphire
基底體積( $\mu\text{m}$ )	$\begin{bmatrix} 800 \\ 1400 \end{bmatrix}$ X2400X254	AlN

表 2-2 材料性質表

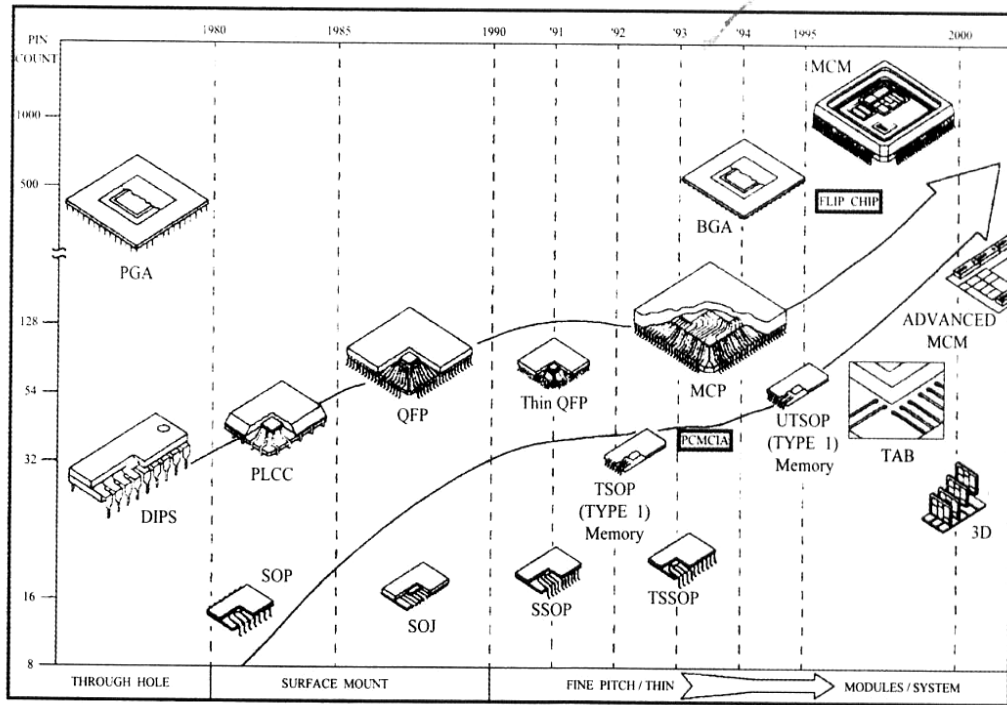
	Au	AlN	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	GaN	underfill
$k(W/m-K)$	313	82.3	23.1	65.6	1.6
$\rho(kg/m^3)$	19280	3300	3980	6100	6080
$c_p(J/kg-K)$	131	740	420	490	674
CTE	14.4	4.6	7.4	4.6	23.1
$\nu$	0.42	0.22	0.28	0.35	0.296
E(MPa)	77200	331000	370000	181000	7000
Ys(MPa)	215				
Tangent Modulus(MPa)	300				



表 4-1 模擬結果表

	最高溫度 (T)	金線熱應力 (MPa)	金線熱應變 ( $\mu\text{m}$ )
100X2_GG50_SD5-type1	246.831	257.731	0.822662
100X2_GG50_SD5-type1_underfill	238.338	249.746	0.824108
100X2_GG50_SD5-type2	244.663	254.679	0.821443
100X2_GG50_SD5-type3	211.374	259.006	0.821669
100X2_GG50_SD5-type4	198.120	286.836	0.824495
100X2_GG100_SD5-type1	234.139	257.312	0.822541
100X2_GG100_SD5-type2	231.270	255.361	0.821391
100X2_GG100_SD5-type3	206.997	274.327	0.821449
100X2_GG100_SD5-type4	193.248	295.881	0.824473
100X6_GG50_SD5-type1	322.738	268.983	0.828853
100X6_GG50_SD5-type2	323.136	267.038	0.826743
100X6_GG50_SD5-type3	295.523	275.502	0.826522
100X6_GG50_SD5-type4	220.535	298.493	0.829776
100X6_GG100_SD5-type1	282.090	279.736	0.828274
100X6_GG100_SD5-type2	291.324	280.373	0.826189
100X6_GG100_SD5-type3	264.740	281.094	0.826112
100X6_GG100_SD5-type4	204.424	293.104	0.830047
100X10_GG50_SD5-type1	363.461	287.045	0.834066
100X10_GG50_SD5-type2	383.767	288.144	0.831570
100X10_GG50_SD5-type3	331.445	276.898	0.831141
100X10_GG50_SD5-type4	227.068	280.645	0.835099
100X10_GG100_SD5-type1	311.029	278.721	1.028000
100X10_GG100_SD5-type2	347.162	273.757	1.238000
100X10_GG100_SD5-type3	278.388	290.862	0.997634
100X10_GG100_SD5-type4	205.078	287.163	0.912937

# 圖附錄



TL / P / 11824-1

圖 1-1 IC 元件在封裝型態上的發展與演進[1]

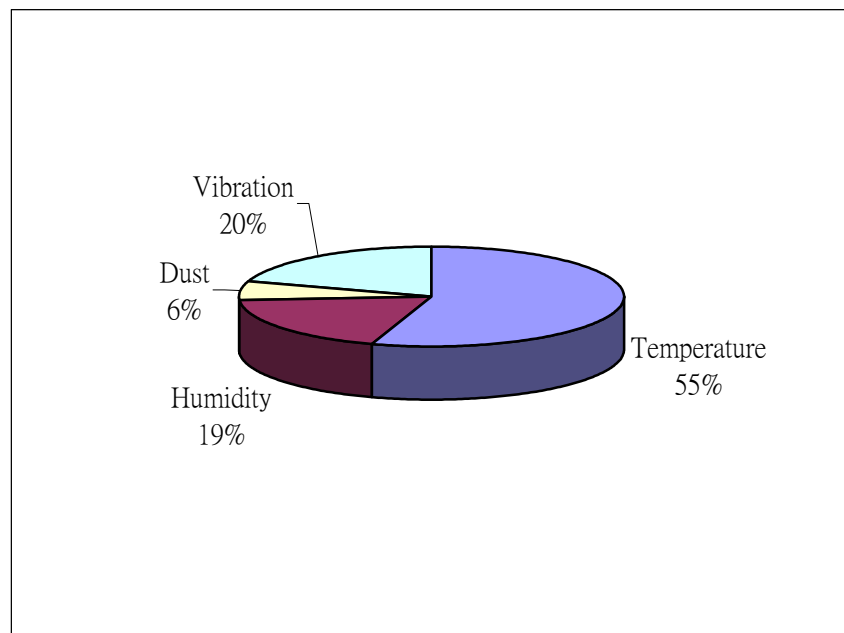


圖 1-2 引起電子元件損壞的主要因素[2]

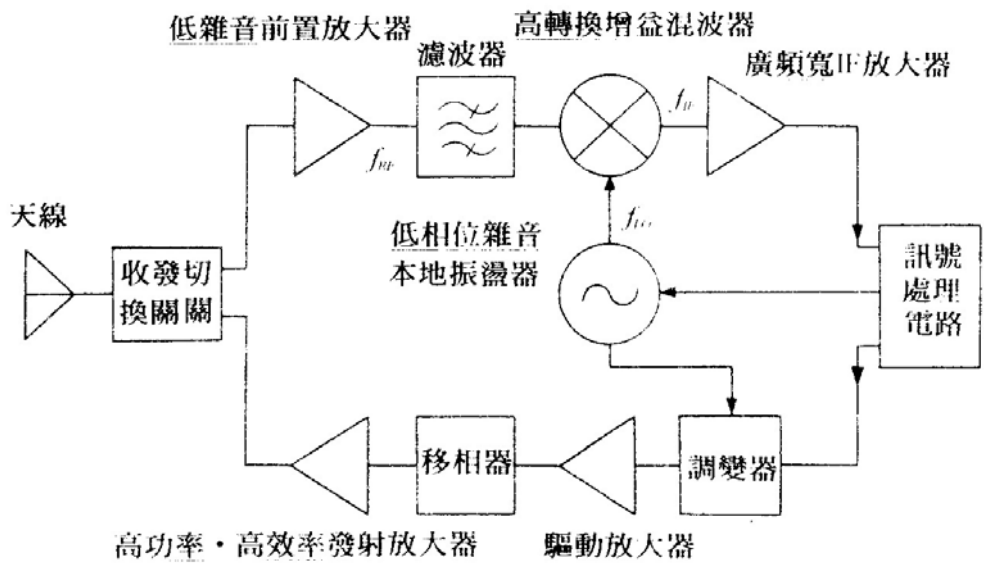


圖 1-3 微波收發裝置的基本方塊圖[3]

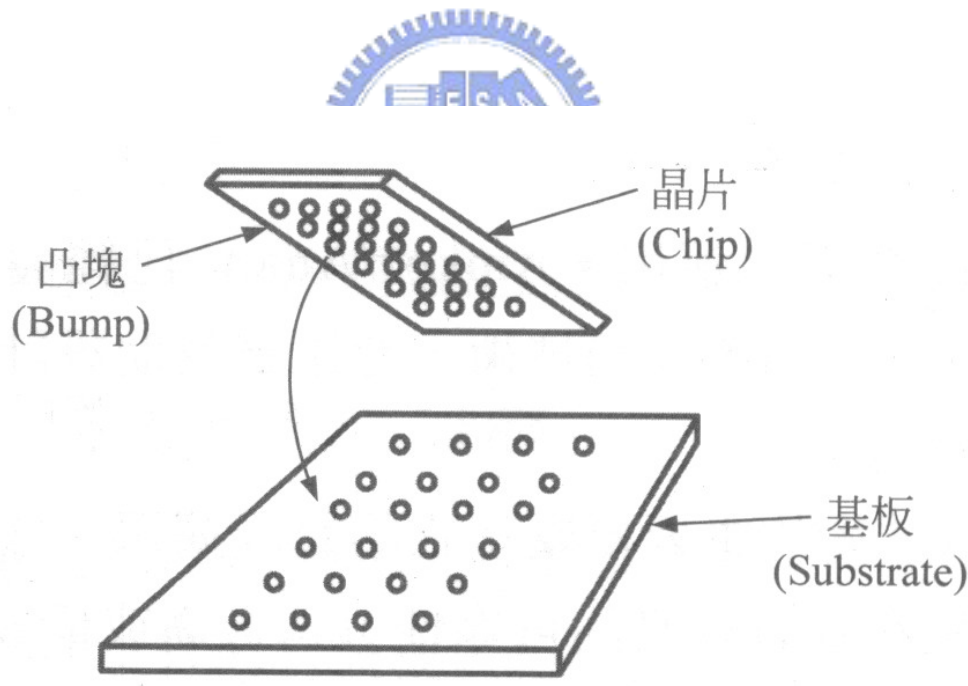


圖 1-4 覆晶示意圖

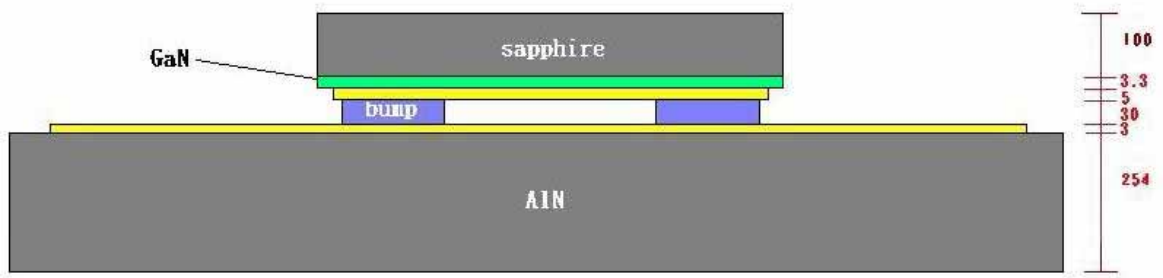


圖2-1 模型幾何圖-側視

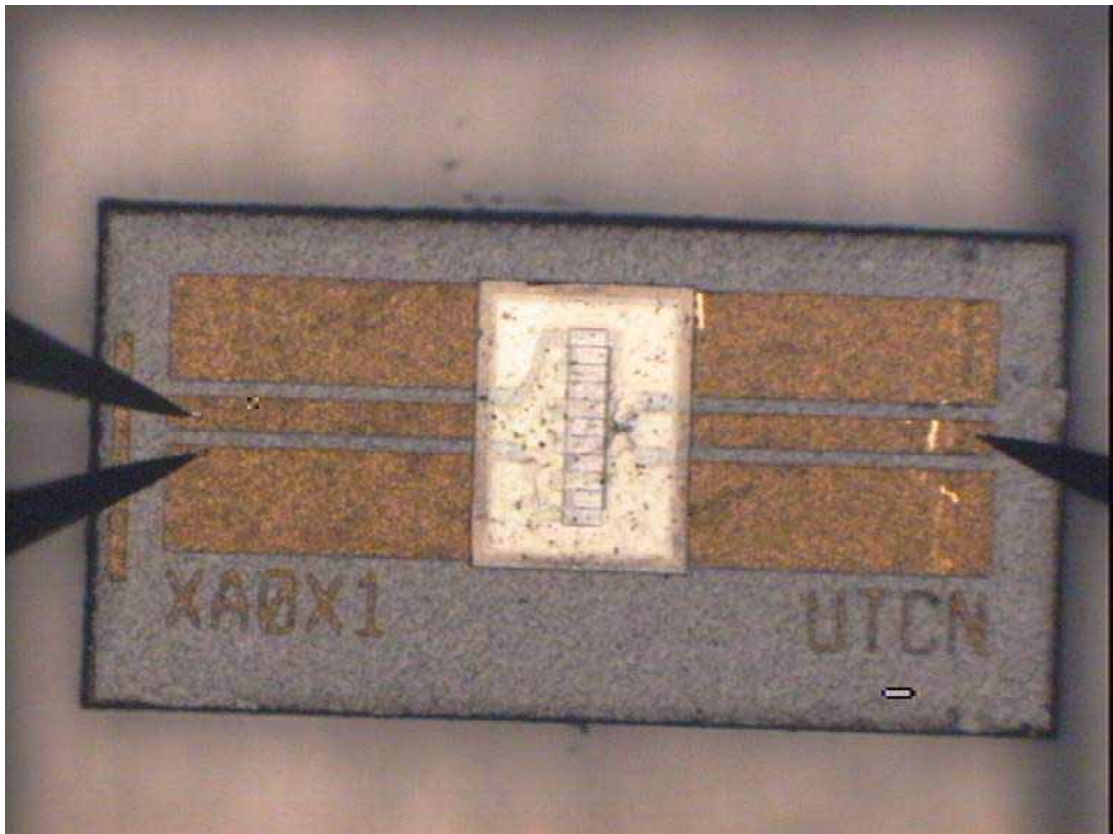


圖2-2 實體結構圖-上視

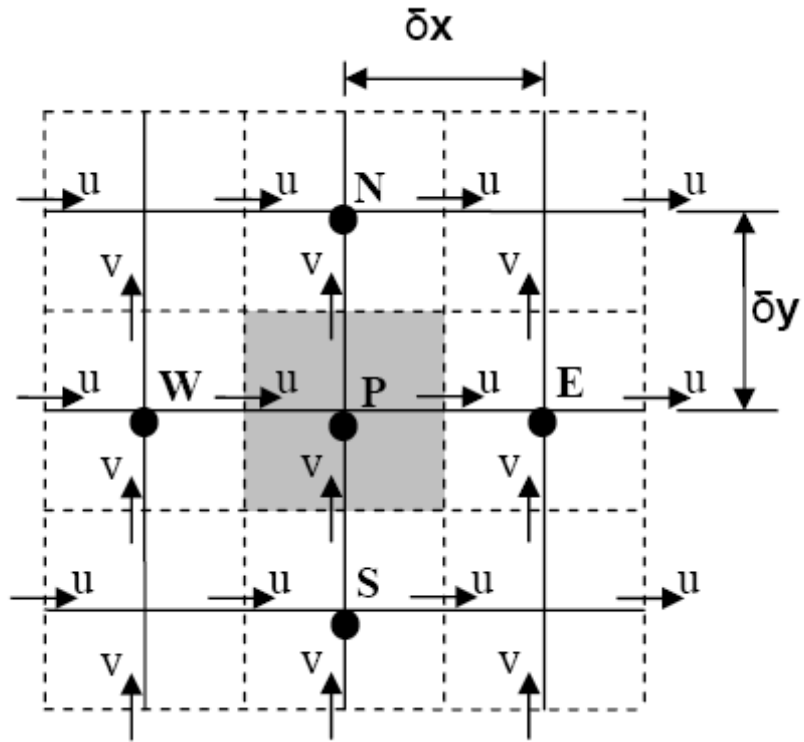


圖2-3 交錯式網格



10	100	10	100	10	100
1	5	1	5	1	5
10	100	10	100	10	100
1	5	1	5	1	5
10	100	10	100	10	100
1	5	1	5	1	1

圖2-4 棋盤壓力示意圖

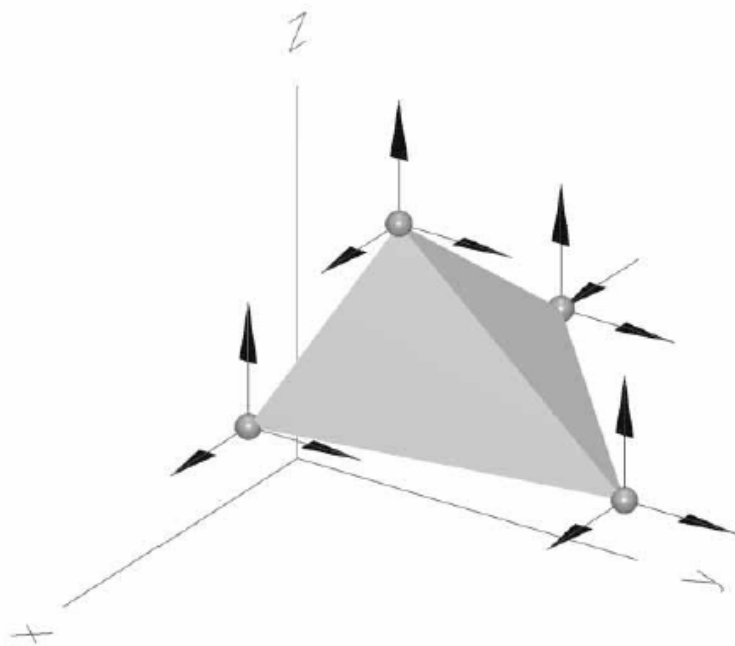


圖 2-5 各節點之自由度

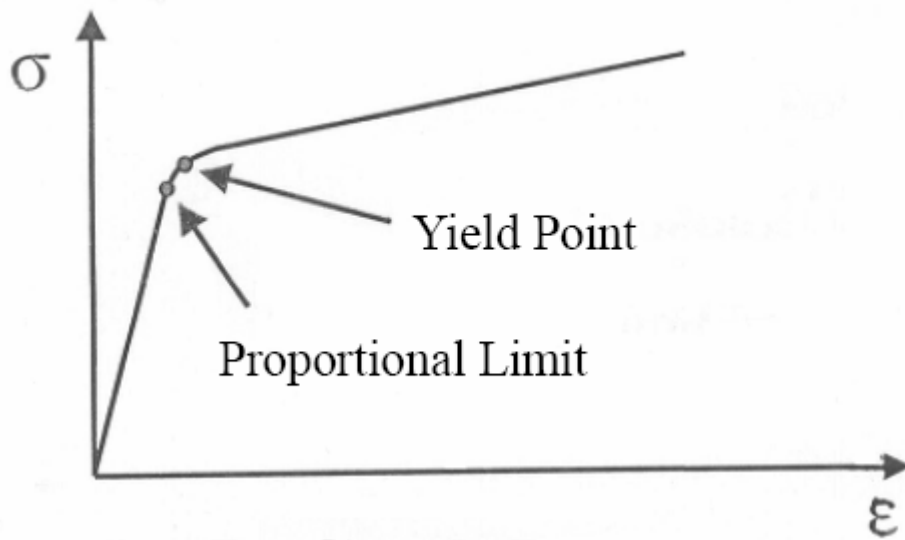
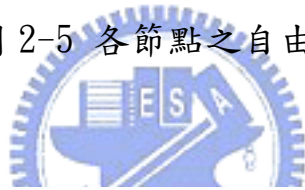
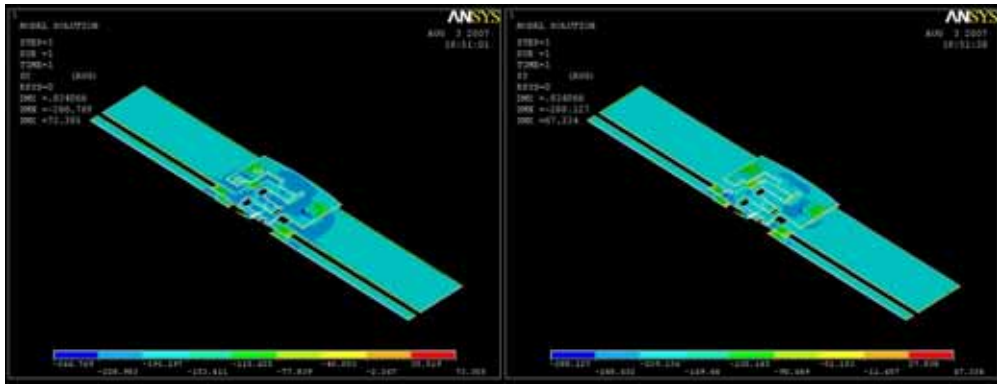
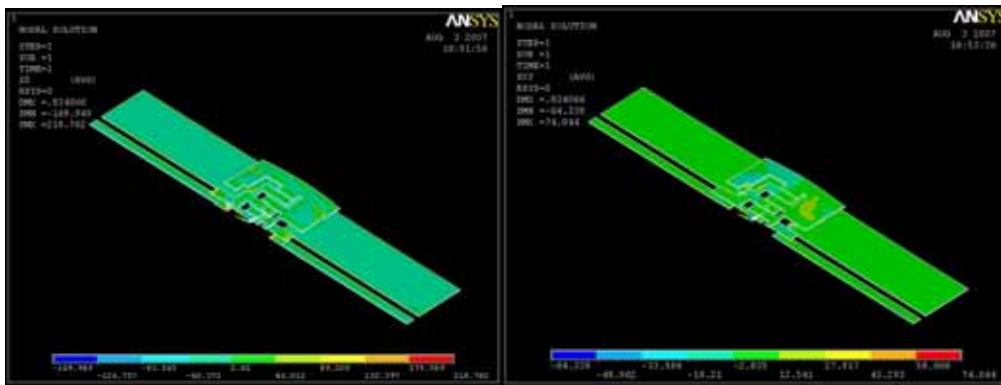


圖 2-6 塑性材料之應力應變曲線



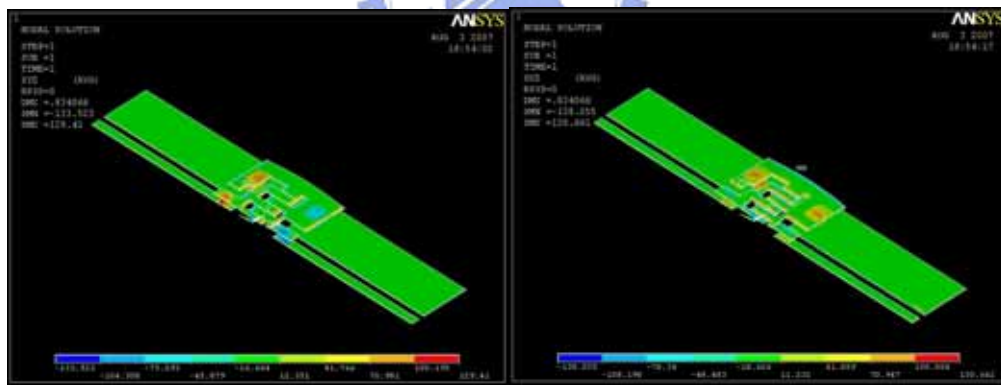
(a)  $\sigma_x$

(b)  $\sigma_y$



(c)  $\sigma_z$

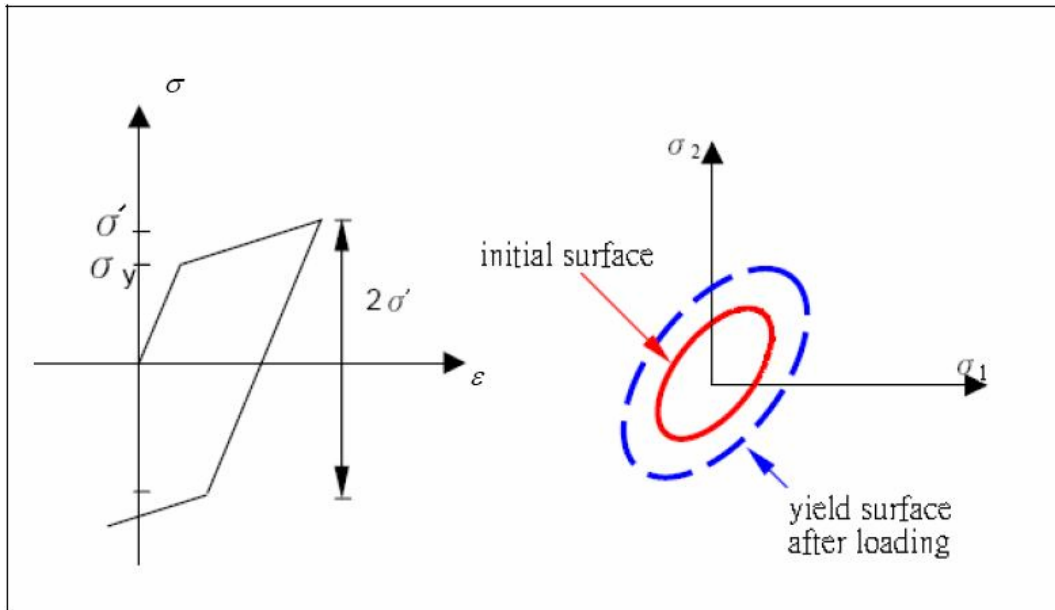
(d)  $\tau_{xy}$



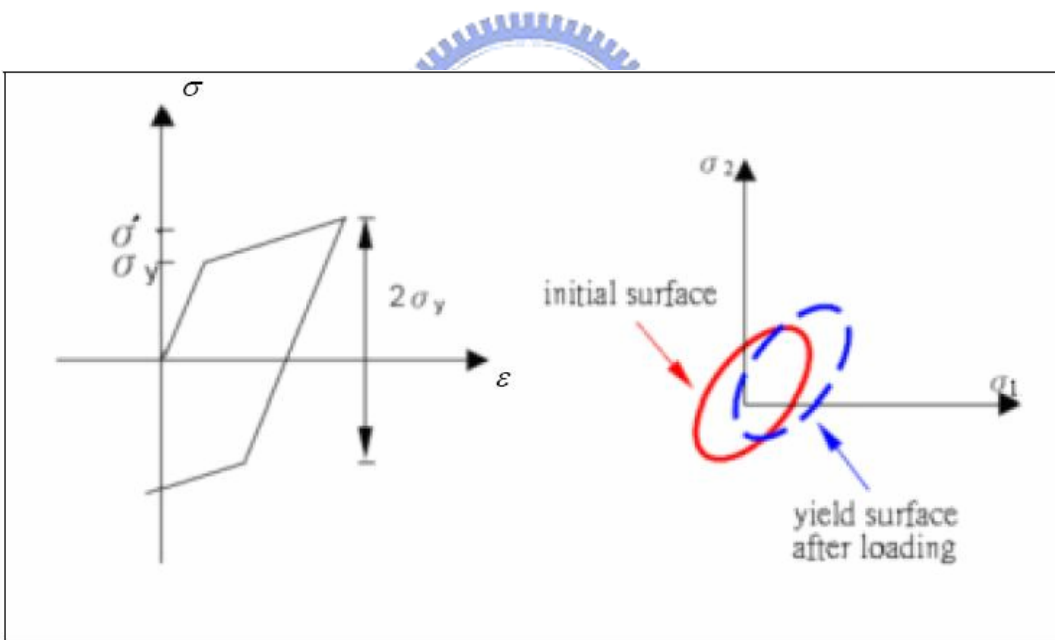
(e)  $\tau_{yz}$

(f)  $\tau_{xz}$

圖 2-7 六個方向之應力分佈



(a) 等向強化準則



(b) 隨動強化準則

圖 2-8 材料之降伏準則[20]



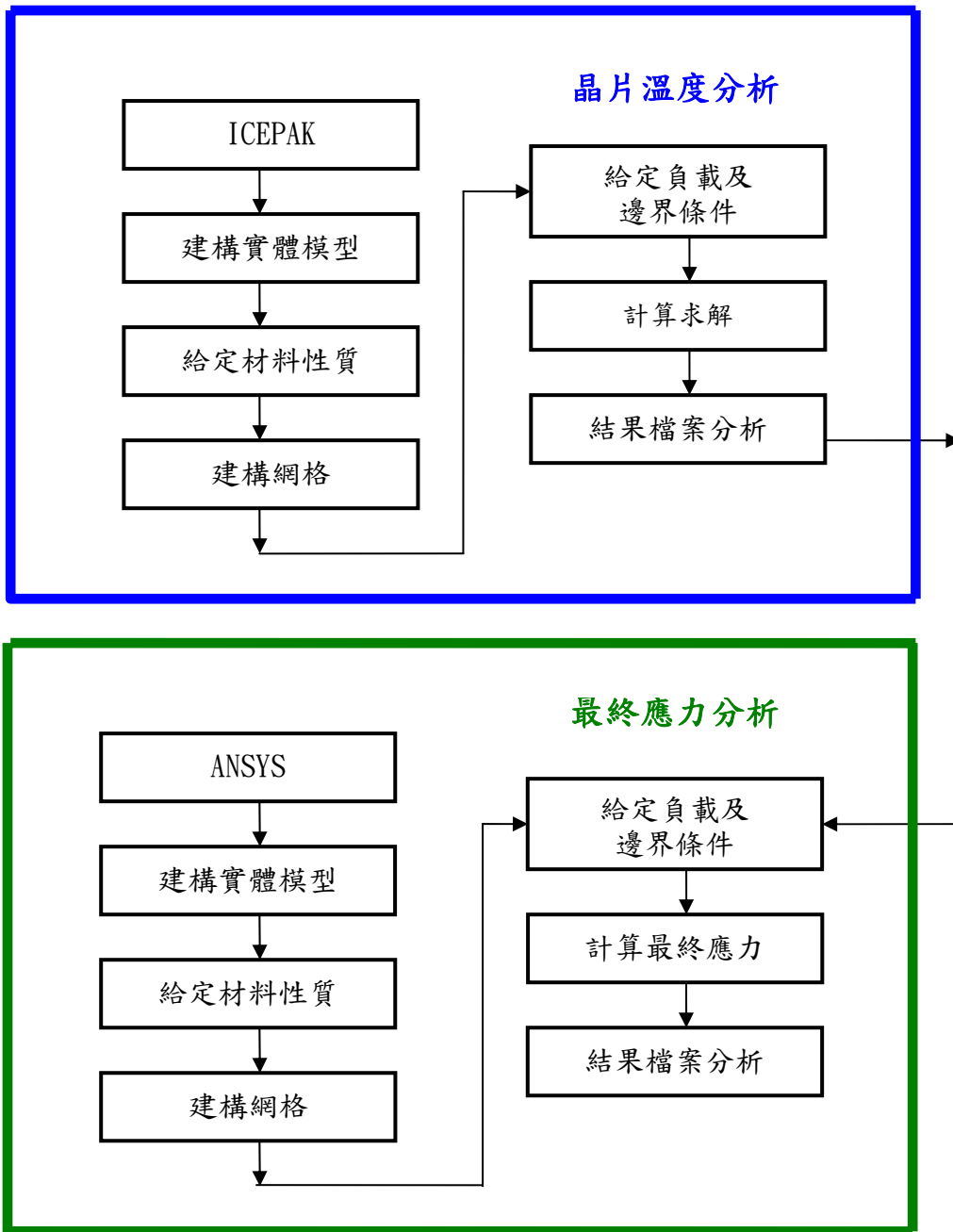


圖 3-1 模擬分析流程圖

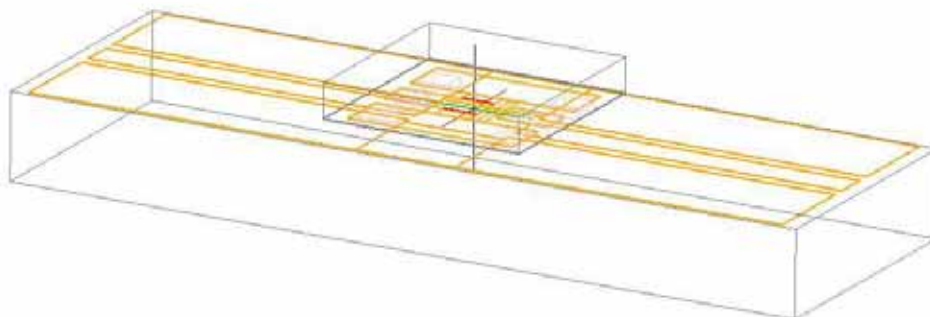


圖 3-2 ICEPAK 建構之構裝體模型圖

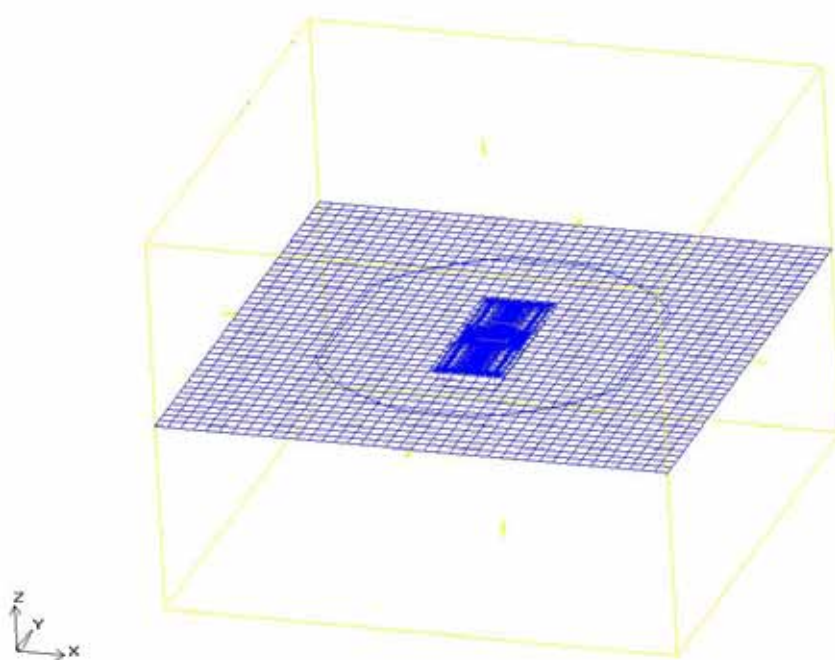


圖 3-3 ICEPAK 建構之網格圖

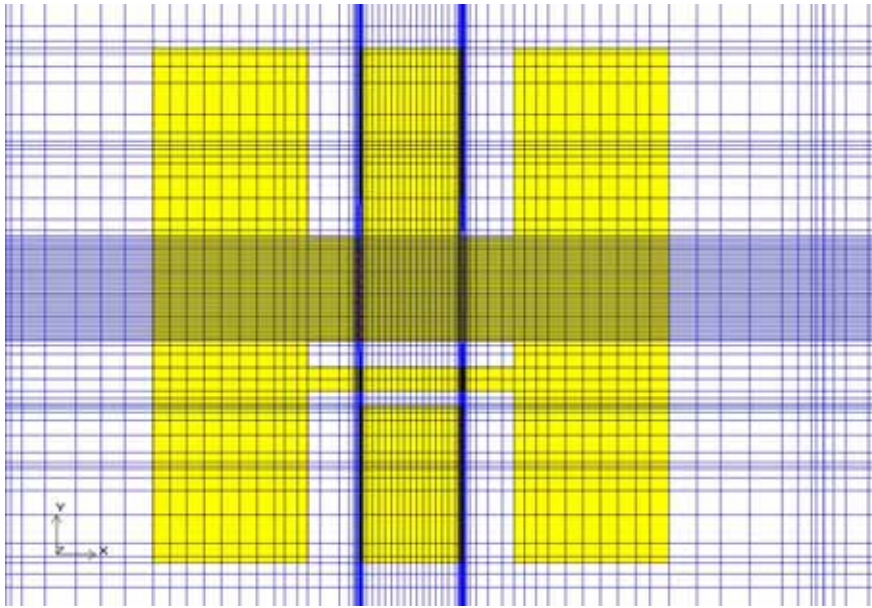


圖 3-4 上金線及熱源網格加密



圖 3-5 ICEPAK 後處理

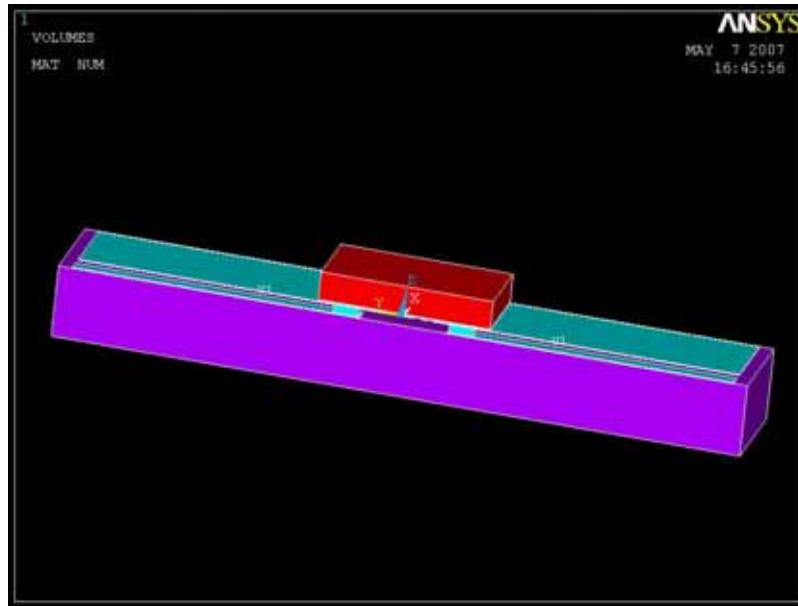


圖 3-6 ANSYS 建構之構裝體模型圖

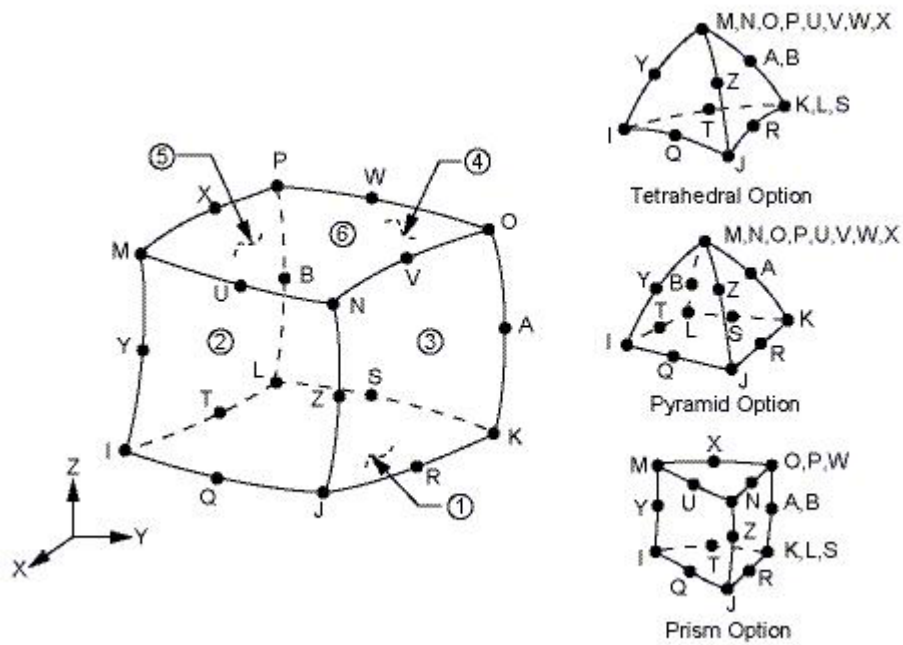


圖 3-7 solid90 熱分析元素[22]

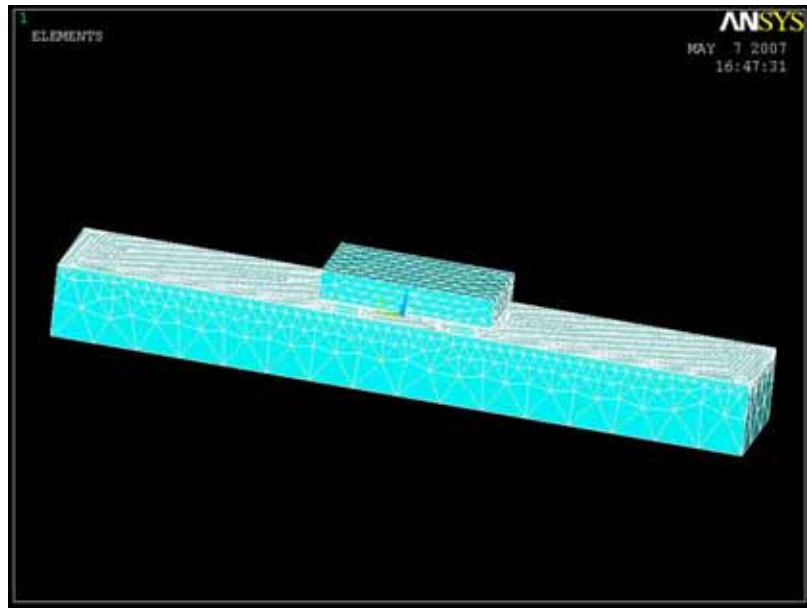


圖 3-8 ANSYS 建構之網格圖

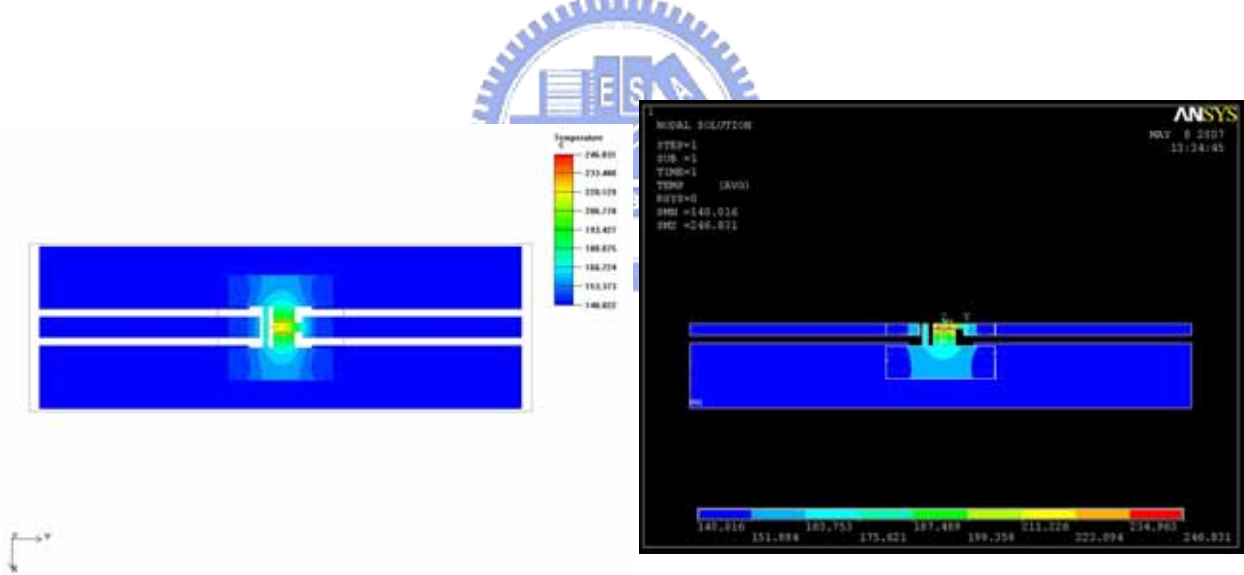


圖 3-9 溫度場重建

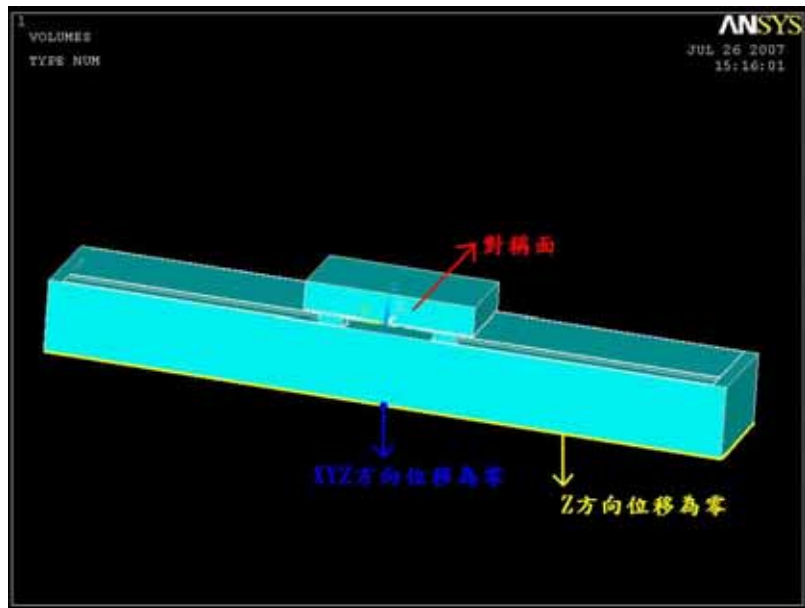
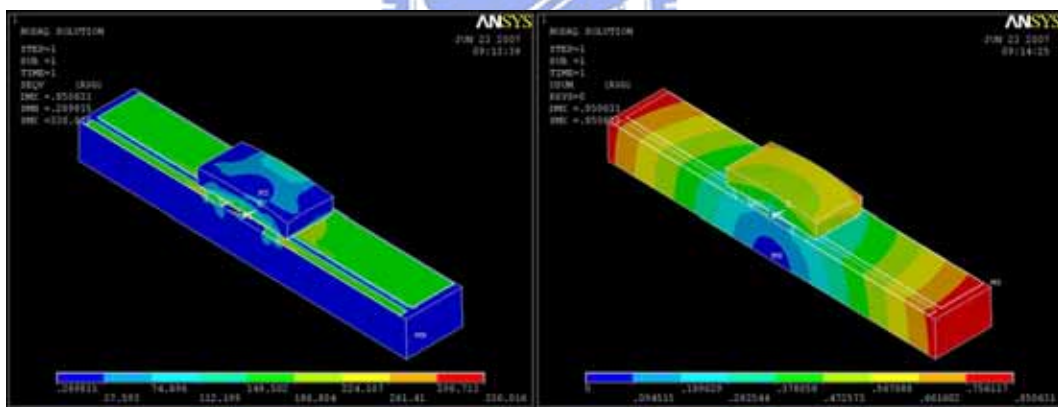


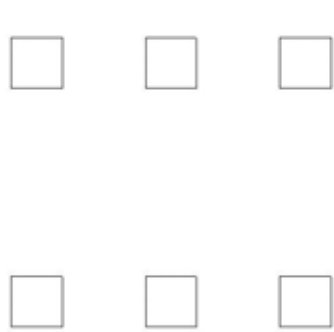
圖 3-10 邊界條件設置圖



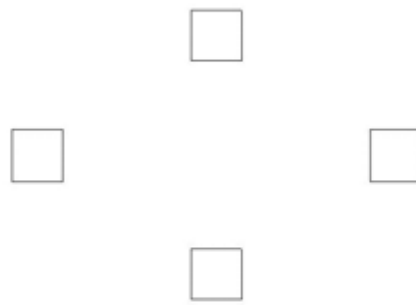
(a)應力

(b)應變

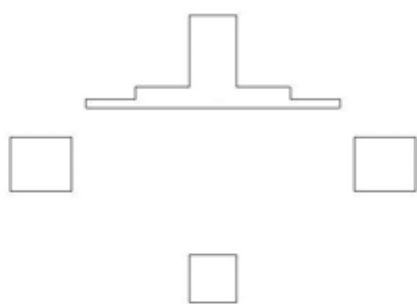
圖 3-11 ANSYS 後處理



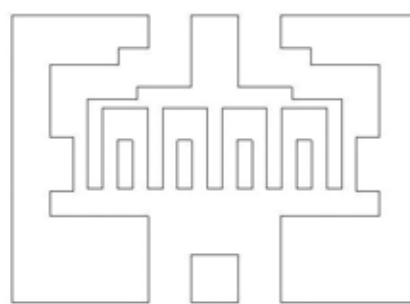
(a)type1



(b)type2



(c)type3



(d)type4

圖 4-1 以 100X10\_GG50\_SD5 為例之凸塊型式

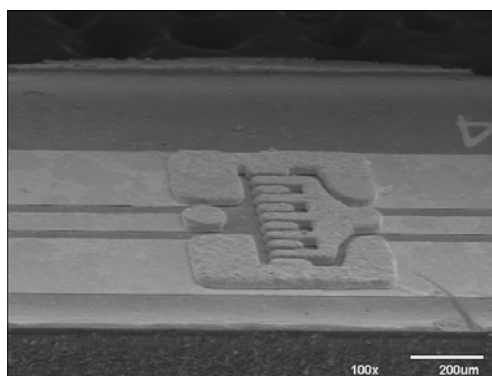


圖 4-2 100X10\_GG50\_SD5-type4 凸塊實體圖

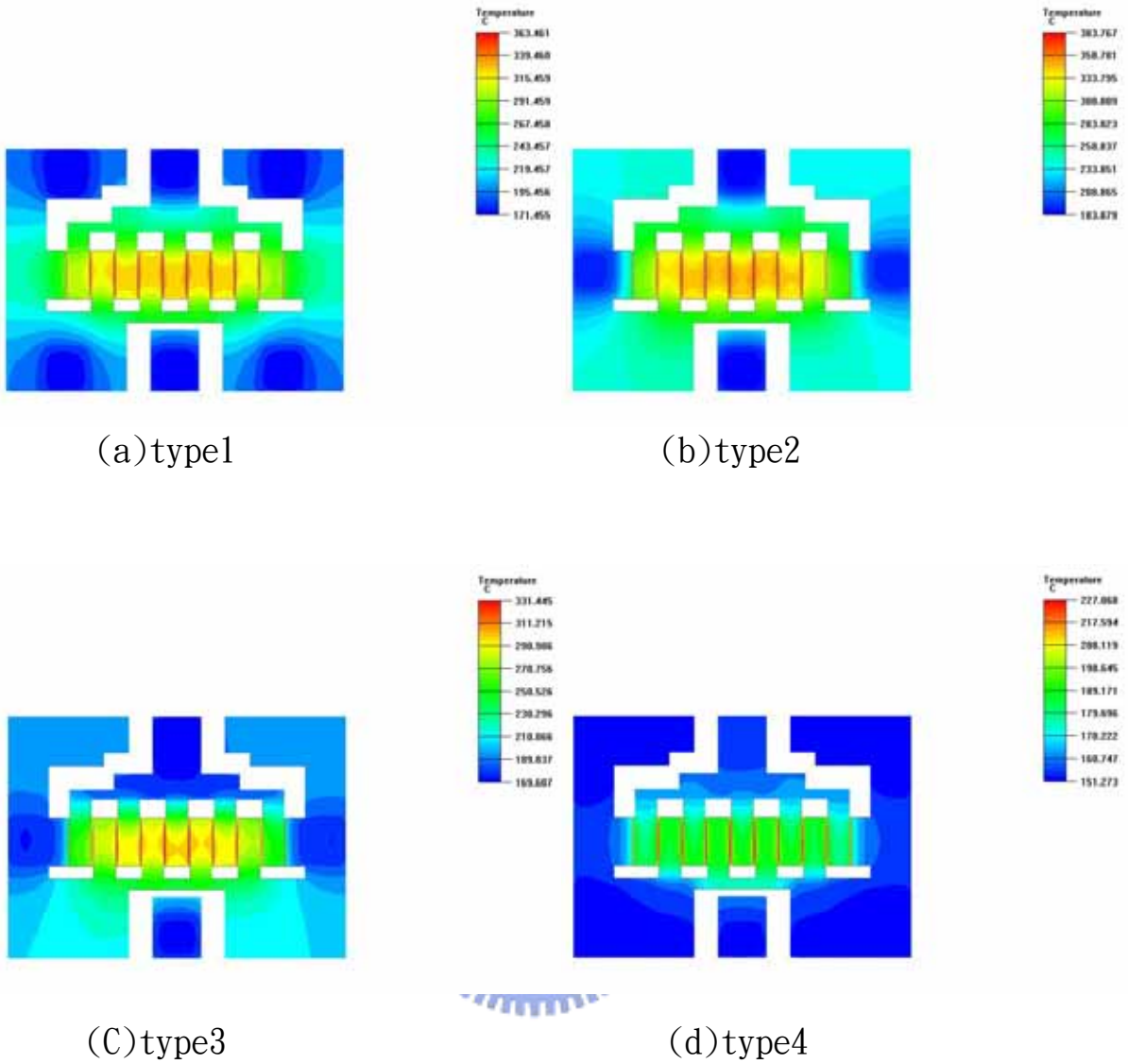


圖 4-3 以 100X10\_GG50\_SD5 為例之溫度場分佈



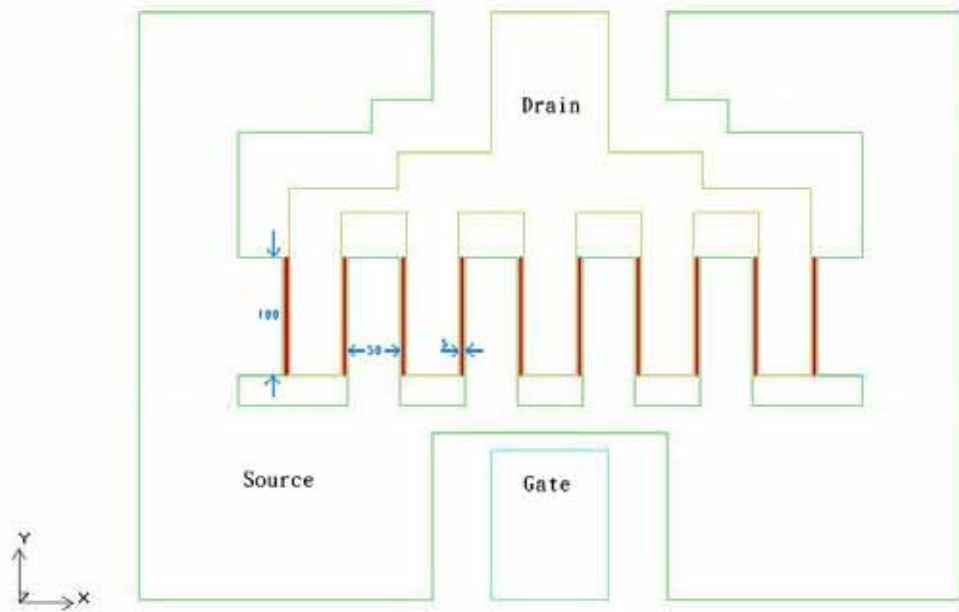
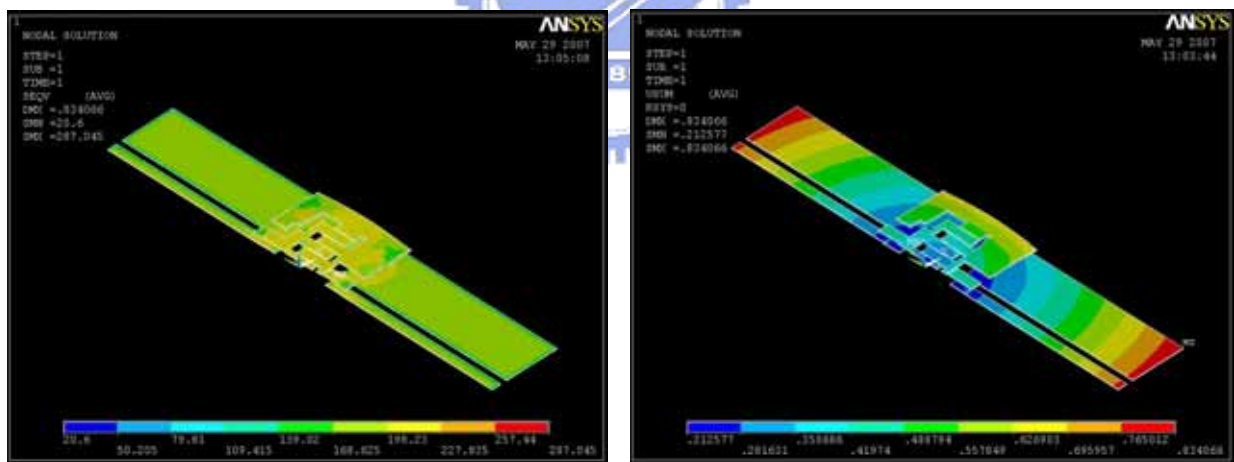


圖 4-4 以 100X10\_GG50\_SD5 為例之上金線圖



(a)應力

(b)應變

圖 4-5 以 100X10\_GG50\_SD5-type1 為例之金線應力應變分佈

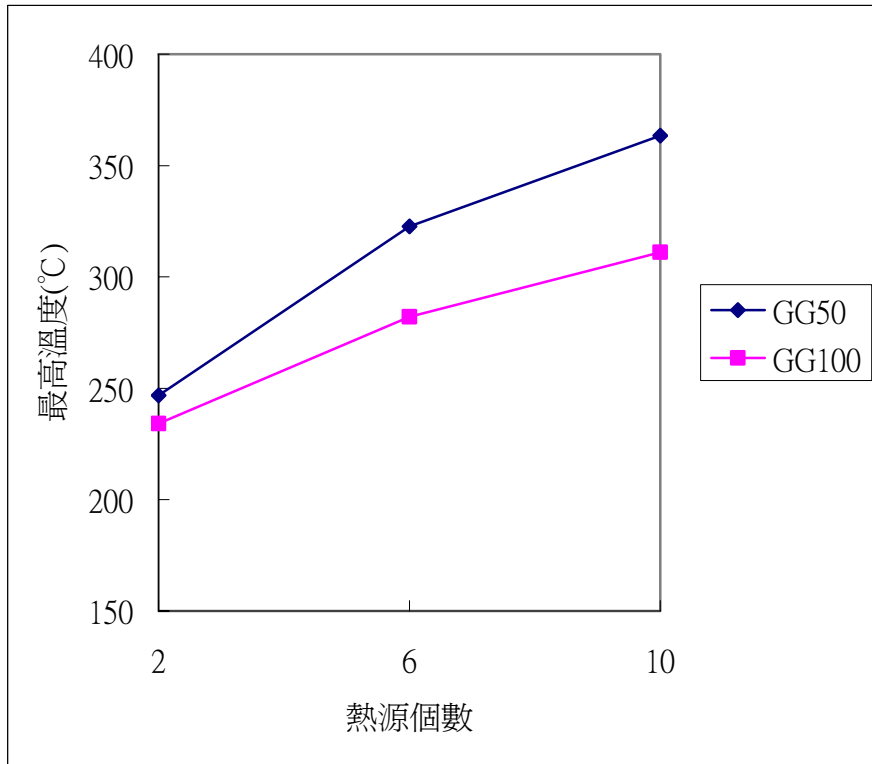


圖 4-6 type1 下改變熱源個數及間距之溫度結果

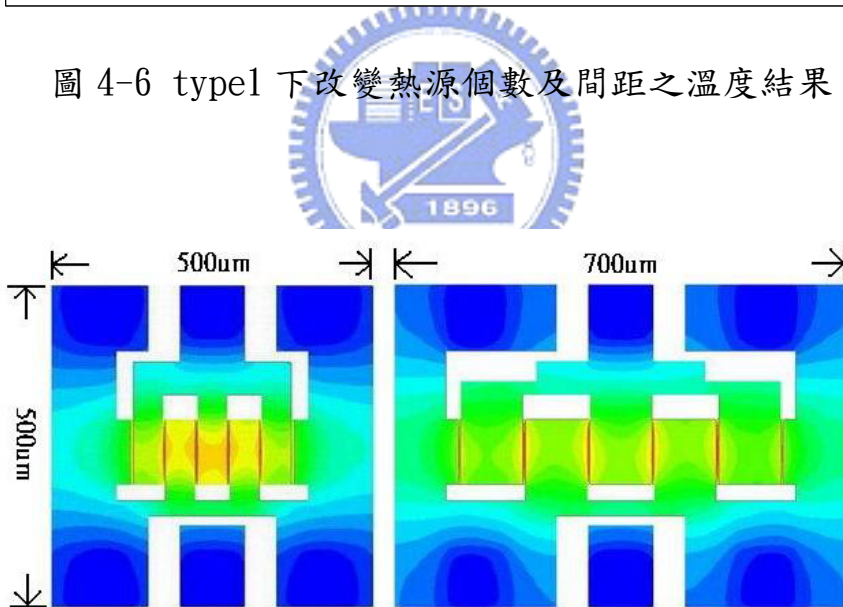


圖 4-7 100X6 結構上金線尺寸

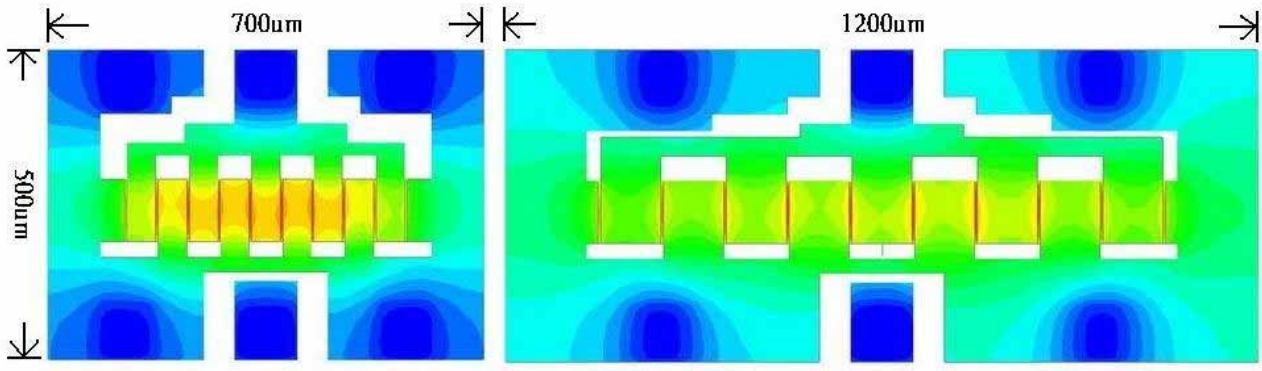


圖 4-8 100X10 結構上金線尺寸

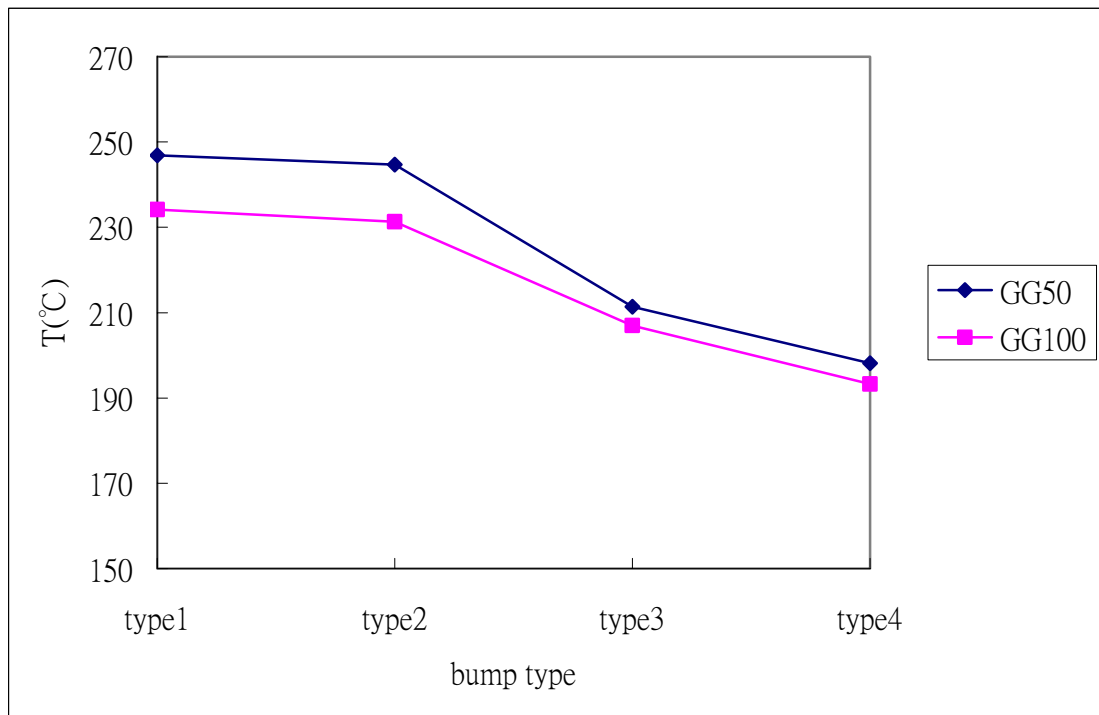


圖 4-9 100X2 結構之溫度結果

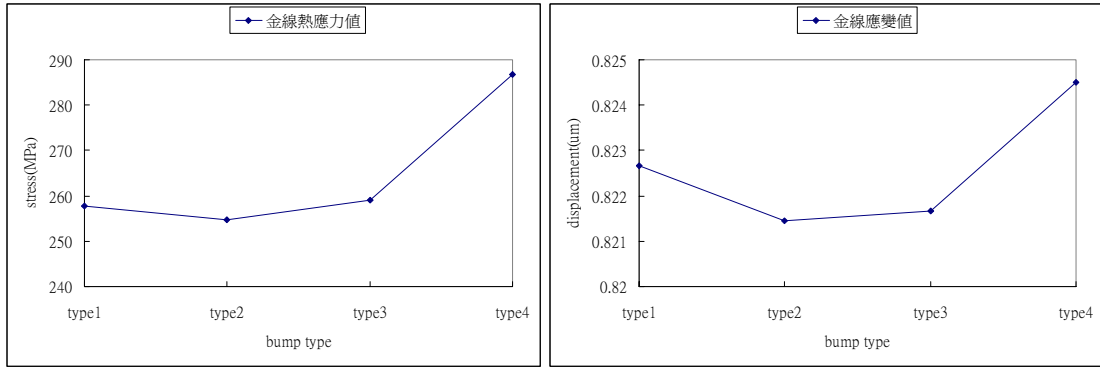


圖 4-10 100X2\_GG50 結構之熱應力應變結果

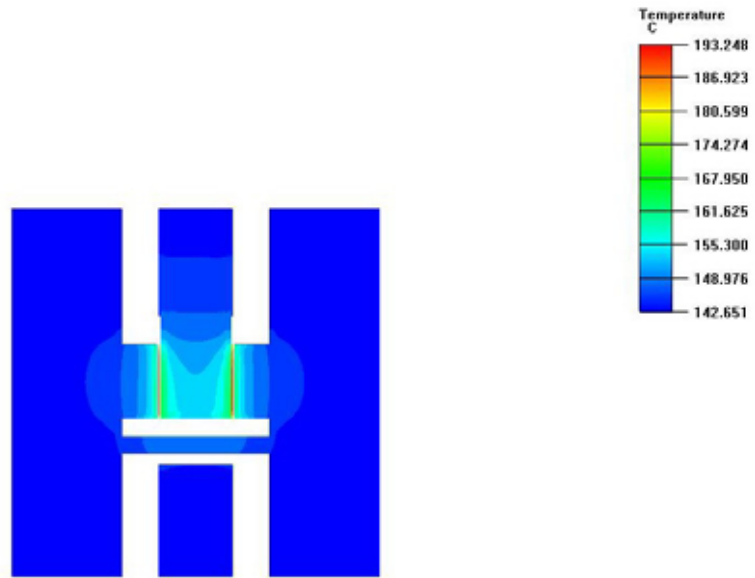


圖 4-11 100X2\_GG100-type4 之溫度場分佈

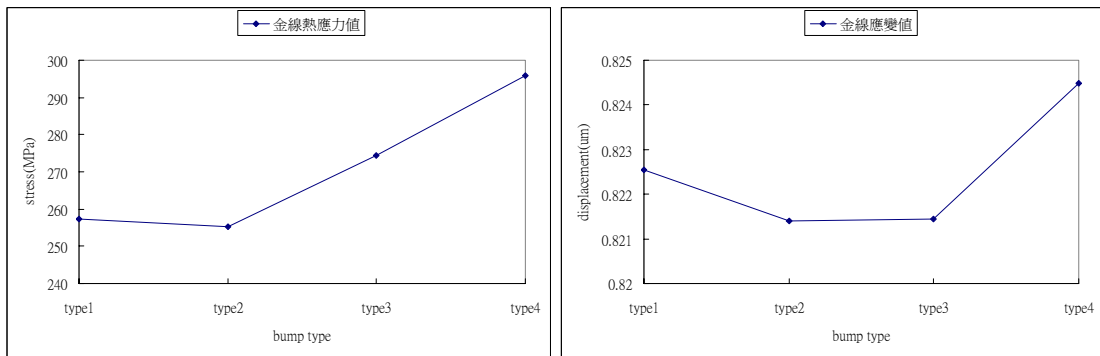


圖 4-12 100X2\_GG100 結構之熱應力應變結果

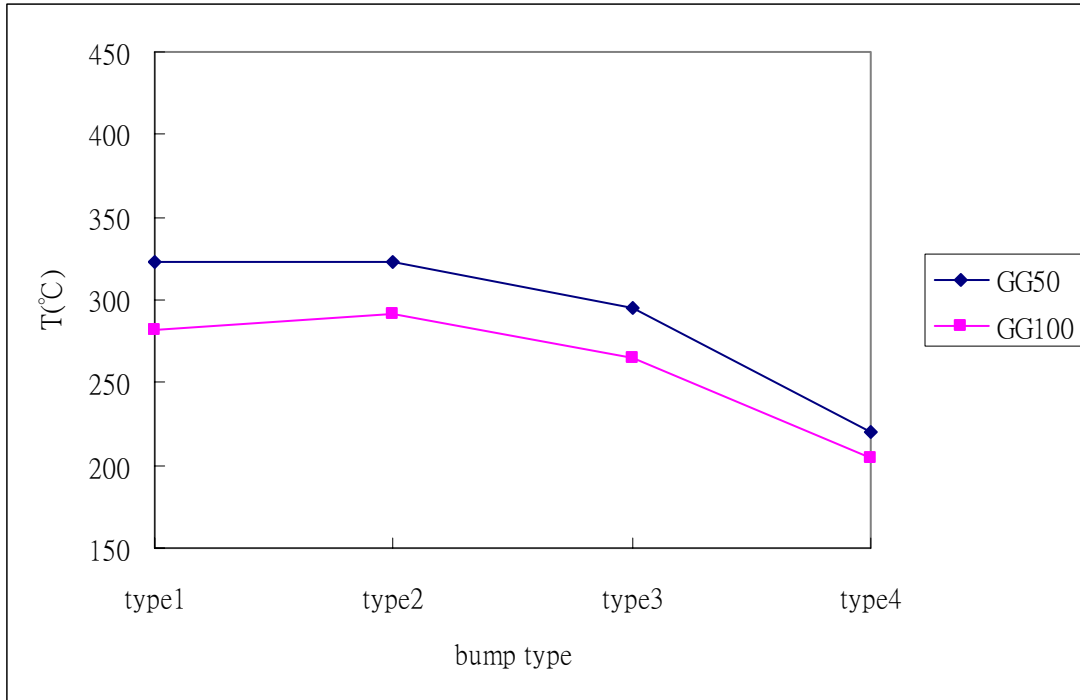


圖 4-13 100X6 結構之溫度結果

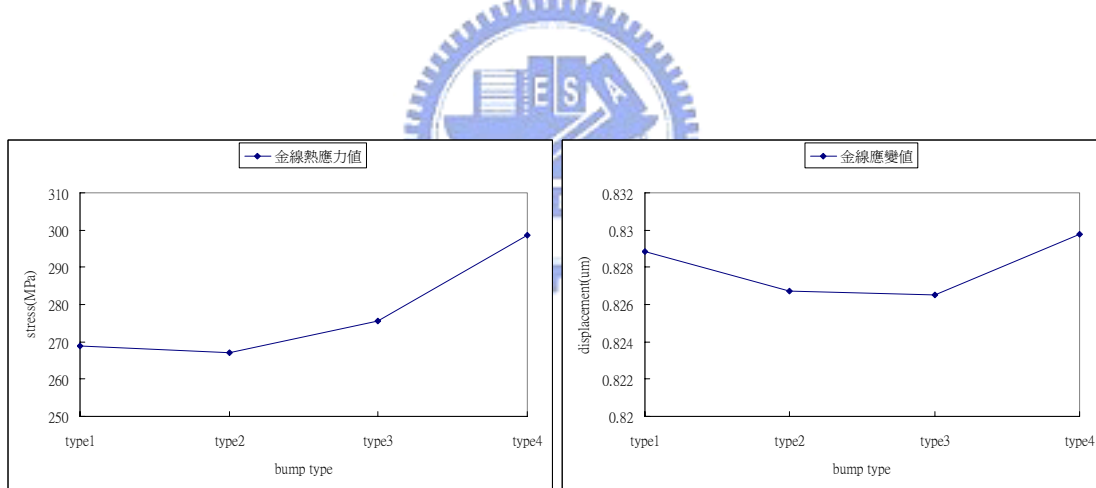


圖 4-14 100X6\_GG50 結構之熱應力應變結果

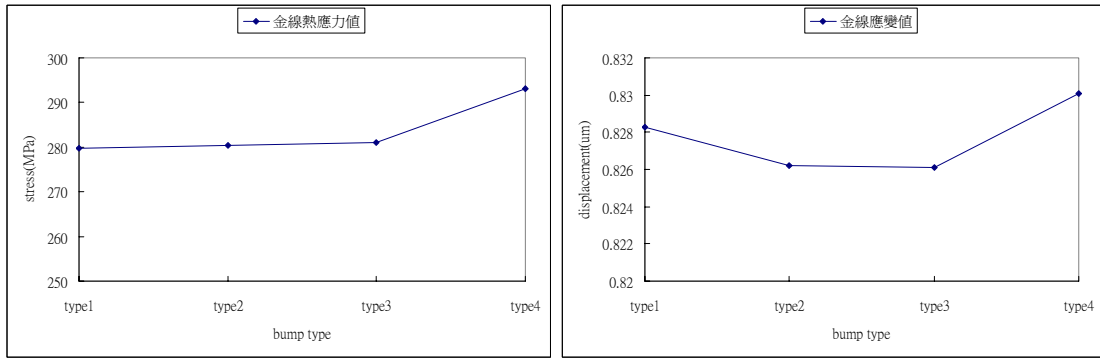


圖 4-15 100X6\_GG100 結構之熱應力應變結果

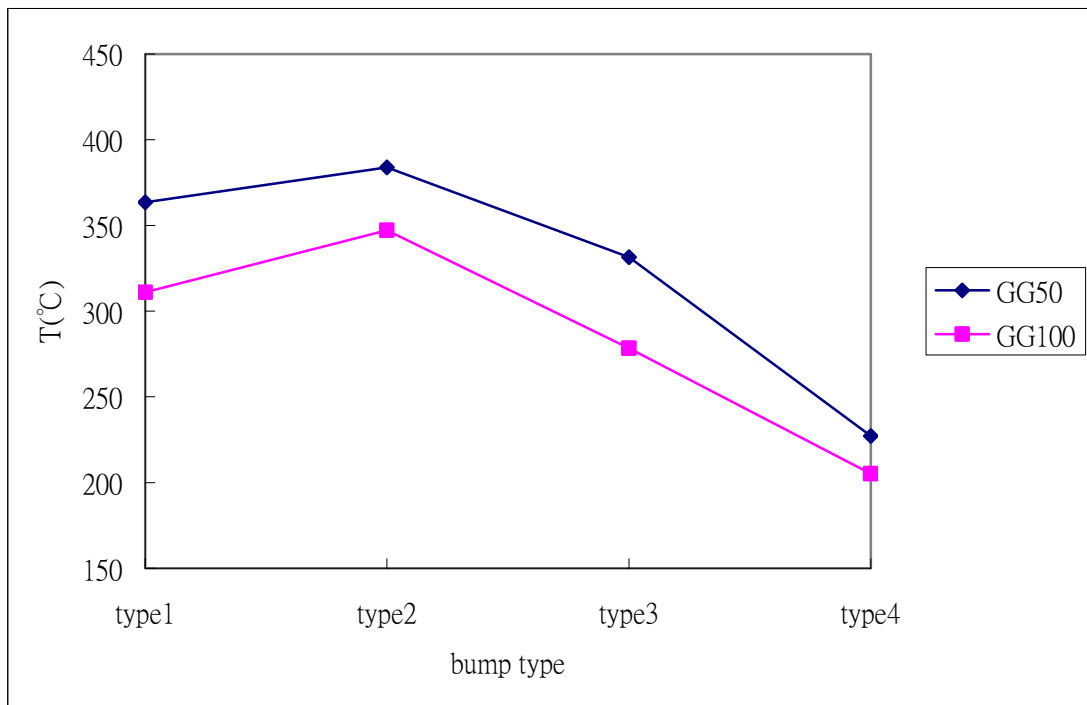


圖 4-16 100X10 結構之溫度結果

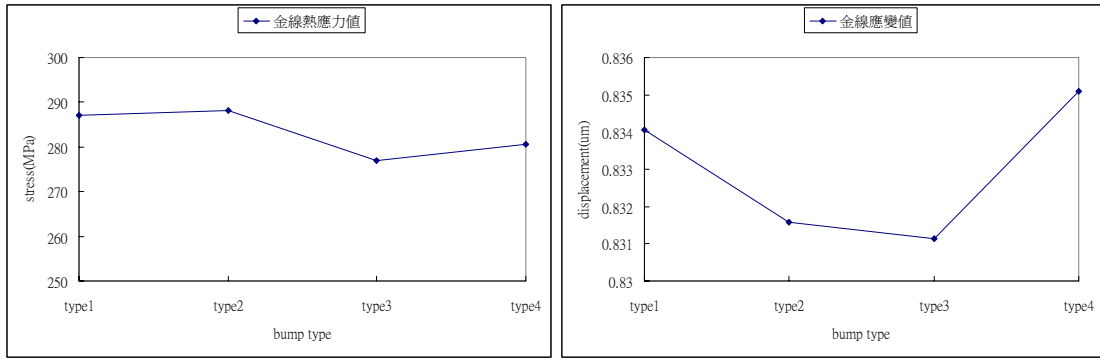


圖 4-17 100X10\_GG50 結構之熱應力應變結果

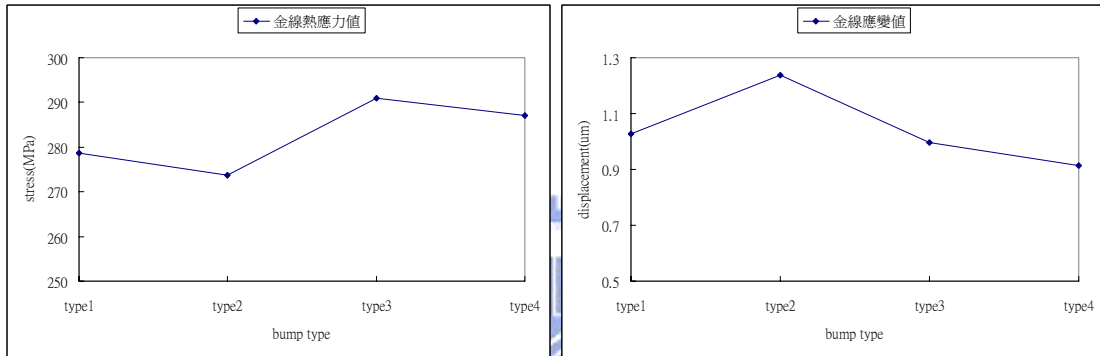


圖 4-18 100X10\_GG100 結構之熱應力應變結果

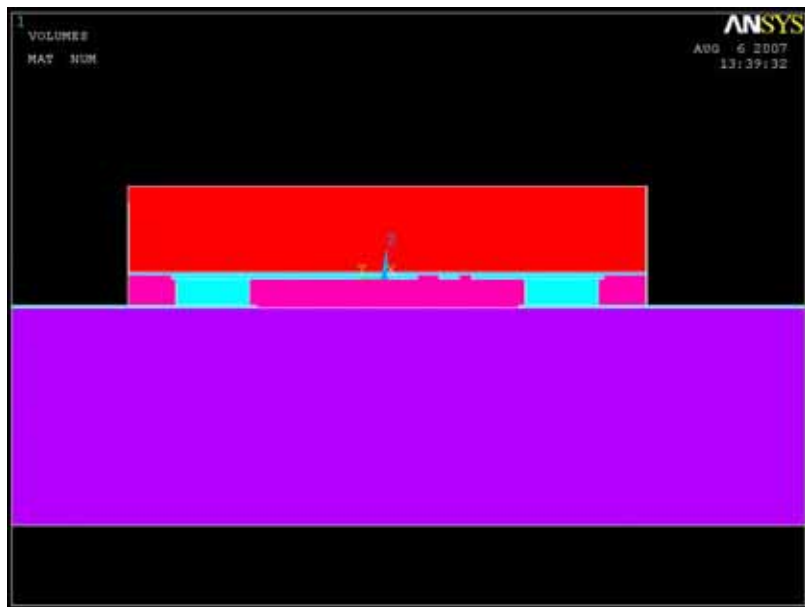


圖 4-19 充入填膠之結構圖