

Thermal Conductivity and Specific Heat Measurements for Power Electronics Packaging Materials

Resum de tesi doctoral

Francesc Madrid Lozano, juny del 2005

Aquest treball proposa dos mètodes de mesura de les propietats tèrmiques de materials per a l'encapsulació en electrònica de potència.

En la literatura es troben valors per a aquestes propietats que no encaixen amb les dels materials particulars d'un cert disseny. En conseqüència, les prediccions de les eines informàtiques de simulació tèrmica no poden ser prou acurades per satisfer les creixents exigències pel que fa a prestacions tèrmiques. És per això que es fa necessari realitzar mesures *in-situ* dels materials si hom vol dur a terme una bona gestió tèrmica dels dissenys d'encapsulació.

El primer mètode proposat és un sistema d'extracció de conductivitat tèrmica efectiva. El valor d'aquest paràmetre s'obté d'una mesura diferencial de resistència tèrmica en dues mostres de diferents gruixos. El muntatge se situa dins d'una cavitat de buit, emprant materials d'interfície tèrmica als quals s'aplica pressió per tal d'assegurar el contacte tèrmic entre la font de calor, la mostra i el radiador. La mesura de la temperatura amb el grau de precisió necessària és duta a terme amb sondes de platí PT100. L'error experimental de la mesura ha estat avaluat i minimitzat. S'ha dissenyat un innovador circuit controlador de la potència calorífica generada com a part del sistema de mesura. Aquest controlador integral és una eina experimental considerablement versàtil, que es pot utilitzar en altres contextos experimentals que requereixin una font controlada de calor i amb qualsevol dispositiu de potència de porta controlada per tensió. De les mesures s'han obtingut valors de conductivitat de materials de fins a 170 W/mK amb molt bona precisió.

En segon lloc, s'ha concebut i implementat un innovador mètode d'identificació de paràmetres tèrmics que determina tant la calor específica com la conductivitat tèrmica d'una mostra de material a partir d'una corba experimental d'escalfament. Les dades experimentals es comparen sistemàticament amb una simulació tèrmica 3D i els valors dels paràmetres tèrmics s'identifiquen en un procés informàtic iteratiu. S'ha creat un motor de simulació tèrmica integrat dins del programa d'identificació, escrit en l'entorn de programació MATLAB. L'equació de conducció de la calor se soluciona numèricament amb el mètode de Cranck-Nicholson i s'obtenen bons resultats, en bona concordança amb un programa comercial (FLOTHERM). La capacitat de l'algoritme d'extreure valors de paràmetres tèrmics consistents amb el seu motor intern de simulació i amb FLOTHERM també s'ha comprovat. L'algoritme identifica múltiples paràmetres i s'obtenen corbes simulades que

encaixen amb extrema precisió amb les corbes pseudo-experimentals generades per aquests simuladors. S'apunten diversos suggeriments per continuar desenvolupant el programa en un futur, tant per millorar la convergència de resultats com per reduir el temps de computació.

S'ha dissenyat, i fabricat a les instal·lacions del CNM, un xip de test tèrmic de baix cost que integra dissipació de calor i mesura de temperatura en el mateix dispositiu semiconductor. Aquest dispositiu forma part essencial del muntatge experimental per a l'adquisició de corbes d'escalfament, s'hi genera un impuls de potència calorífica en forma de graó i s'hi duu a terme l'adquisició de corbes experimentals de temperatura. S'han identificat els paràmetres d'una ceràmica d'Alúmina d'un substrat DCB de potència. Amb els valors identificats, s'obtenen simulacions tèrmiques que s'ajusten estretament a les corbes de temperatura experimentals. Finalment s'exposen diversos suggeriments per a la millora del muntatge experimental.

Les virtuts dels dos mètodes de mesura proposats són el seu baix cost i el fet que moltes de les seves parts són prou versàtils com per proporcionar solucions experimentals en altres treballs relacionats amb la Gestió Tèrmica. En aquest sentit, el circuit controlador de potència i el xip de test tèrmic són dues eines experimentals innovadores i útils per si soles. A més, el programa d'identificació de paràmetres pot funcionar amb altres sistemes tèrmics diferents del que s'exposa en aquest treball. És a dir, es poden extreure els valors de propietats tèrmiques de qualsevol sistema tèrmic que es pugui simular amb el motor de simulació. Aquest programa obre noves possibilitats per extreure paràmetres de mòduls i encapsulats ja en funcionament, o altres sistemes tèrmics d'interès, en condicions de treball realistes. Petites modificacions dels dissenys originals que es proposen en aquest informe de tesi poden obrir en gran mesura el ventall de possibles aplicacions.

*Thermal Conductivity and Specific Heat Measurements for Power
Electronics Packaging Materials* by Francesc Madrid Lozano

PhD Thesis report summary, June 2005

This work proposes two methods for the measurement of the thermal properties of Power Electronics packaging materials. Thermal property values reported in literature may not fit those of a particular material used in a given design. Consequently, predictions from thermal simulation tools would not provide the necessary accuracy to achieve the design aims imposed by the increasing thermal performance requests. Therefore, *in-situ* measurements are essential for an accurate Thermal Management of designs.

The first proposed method is an effective thermal conductivity extraction system. The parameter value is deduced from a thermal resistance differential measurement on two samples different in thickness. The setup is placed inside a vacuum cavity, using thermal interface materials with a pressure system to assure the good thermal contact between the heat source, the sample and the heat sink. Accurate temperature measurements are carried out with PT100 temperature probes. The experimental error of the measurement has been evaluated and minimized. An innovative heat power generation controller has been designed as part of the measurement system. This integral controller circuit is a versatile experimental tool; any voltage controlled or gated device may be driven, being suitable for other experimental work requiring a controlled heat power source. Thermal conductivity measurements evidence the capability to obtain values of materials with thermal conductivities up to 170 W/mK with good accuracy and repeatability.

Secondly, an innovative thermal parameter identification method has been conceived and implemented. The method determines both the specific heat and thermal conductivity of a sample material from an experimental transient temperature record. The experimental data are compared systematically with a 3D thermal simulation and the thermal parameter values for the simulation are identified in an iterative computer-based process. A thermal simulation engine, being part of the developed thermal parameter identification software (written entirely in MATLAB), has been created. The heat conduction equations are numerically solved using the Cranck-Nicholson scheme, which provide fine results in accordance with a commercial program (FLOTHERM). The multiple parameter identification algorithm permits reproducing experimental curves by thermal simulation with extreme accuracy. The algorithm capability of extracting thermal parameter values consistent with its internal simulation engine and with FLOTHERM has been also checked successfully. Future work suggestions are pointed out, mainly channeled into the result convergence improvement and the reduction of the computing time-consumption.

A low cost thermal test chip, integrating heat power dissipation and temperature measurement in the same semiconductor device has been designed and manufactured in the CNM facilities as an essential part of the experimental setup for the transient

heating curve acquisition. The power controller is also used to generate a step-wise heat power. A thermal parameter identification of the alumina ceramic of a DCB substrate has been carried out. The extracted thermal parameters lead to thermal simulations that accurately reproduce the temperature experimental transient curve. Future work suggestions for the experimental setup improvement have been finally discussed.

The virtues of the proposed measurement methods are their low cost and the fact that most of their parts, designed in the context of this work, are versatile enough to provide experimental solutions to other Thermal Management related works. In this sense, the power controller circuit and the thermal test chip are themselves two useful innovative experimental tools. The thermal parameter identification tool could be applied to other systems different from the one exposed here. The parameters of virtually any thermal system that could be simulated by the simulation engine can be extracted. This opens a new possibility in modeling already working modules and packages, or other thermal systems of interest, under realistic working conditions. Modification of the original designs exposed here will greatly increase the number of alternative applications.