

Study on Dense Hole Region of LTCC Substrate Based on Equal Stiffness Theory

Yangzhi Liu¹, Shenggan Shi^{2*}, Hongbo Ma², Tianshi Wang¹, Chao Deng¹, Yi Zhang¹

¹The 29th Research Institute, CETC, Chengdu Sichuan

²School of Mechano-Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an Shaanxi

Email: *904479296@qq.com

Received: Feb. 6th, 2018; accepted: Feb. 21st, 2018; published: Feb. 28th, 2018

Abstract

Due to the presence of a large area of dense holes in the LTCC (low temperature co-fired ceramic) substrate, the number of LTCC substrate model meshes is very large and the mesh quality of the LTCC substrate is very poor during finite element simulation analysis, which leads to the error of the large simulation analysis, and the long calculation time. In this paper, in order to solve the above problems, the equivalent stiffness principle is used to obtain the equivalent area of dense holes. The simplified model and the equivalent elastic modulus of dense holes in the LTCC substrate are obtained. The models before and after the equivalent are validated by the finite element analysis to make sure the simplified model is right. The equivalent study of the dense hole area achieves the purpose of simplifying the model, improving the calculation precision and reducing the calculation time, and lays the foundation for the finite element analysis of the LTCC substrate with similar characteristics in the future.

Keywords

LTCC Substrate, Dense Hole Area, Equal Stiffness Principle, Finite Element Analysis

基于等刚度原理的LTCC基板密集孔区域研究

刘洋志¹, 时生淦^{2*}, 马洪波², 王天石¹, 邓超¹, 张怡¹

¹中国电子科技集团公司第二十九研究所, 四川 成都

²西安电子科技大学机电工程学院, 陕西 西安

Email: *904479296@qq.com

收稿日期: 2018年2月6日; 录用日期: 2018年2月21日; 发布日期: 2018年2月28日

*通讯作者。

文章引用: 刘洋志, 时生淦, 马洪波, 王天石, 邓超, 张怡. 基于等刚度原理的LTCC基板密集孔区域研究[J]. 机械工程与技术, 2018, 7(1): 60-69. DOI: 10.12677/met.2018.71008

摘要

由于低温共烧陶瓷(LTCC: low temperature co-fired ceramic)基板上大片的密集孔区域的存在,对LTCC基板进行有限元仿真分析时出现模型网格数量极大,且网格质量较差等问题,导致仿真分析结果误差较大,计算时间长。本文针对上述问题,采用等刚度原理对密集孔区域进行等效,得到LTCC基板密集孔区域的简化模型及等效弹性模量,并对等效前后的模型进行有限元分析,验证等效的正确性。密集孔区域的等效研究达到了简化模型、提高计算精度和减少计算时间的目的,为以后具有相似特征的LTCC基板的有限元分析奠定基础。

关键词

LTCC基板, 密集孔区域, 等刚度原理, 有限元分析

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高密度多层互连基板的制造技术是 MCM 技术中的关键,影响着 MCM 的体积、重量、性能和可靠性[1]。低温共烧陶瓷(LTCC)技术由于具有优异的电学、机械、热学及工艺特性,是很有前景的一种多层互连基板制造技术。

LTCC 基板可以提高布线密度和信号传输速度;基板的热膨胀系数可以做到和硅器件接近,对安装裸片硅器件非常有利;可以内埋无源元件,形成立体高密度组件。

20 世纪 80 年代以来,日、美等国在这一领域做了大量工作,已开发出适用于 VLSI、ULSI 芯片组装要求的 LTCC 基板,在航天、通信、计算机和军事等领域得到了广泛应用[2]。如美国海军水面作战中心研制的水下数字处理装置、美国 Martin Marietta 公司生产的用于目标搜索和识别的图像处理电子装置 SEM-E、西屋公司制造的有源相控阵雷达的 T/R 组件、TRW 公司研制的模拟视频信号-数字信号转换器等都采用了 LTCC 基板[3]。

目前国内关于 LTCC 产品的研制尚处于初期发展阶段,相关设计和工艺技术都不成熟[4] [5]。国内有几家研究所已经或正在引进 LTCC 设备,开发 LTCC 功能模块,但由于 LTCC 产品的开发与生产,必须依靠材料、设计、设备等多方面的支持,而且 LTCC 产品的一致性和精度完全依赖于所用材料的稳定性和工艺,故工艺技术及优化尤为重要。本文基于有限元分析方法对 LTCC 基板密集孔区域进行研究,为 LTCC 基板的有限元仿真及优化提供依据。

2. 数值仿真方法

若保证 LTCC 基板层与层之间的连接方式不变,通过改变材料的弹性模量保证修改后的模型保持结构刚度不变。在有限元仿真分析中对密集孔区域的模型等效,弹性模量的取值主要是依靠经验,结构刚度与基板形状结构的关系与材料的弹性模量关系可表示如下:

$$K = \beta(\eta) E t^n \quad (1)$$

式中： $\beta(\eta)$ ——不同零件形状及工况系数；

E ——材料的弹性模量；

t ——零件厚度；

η ——厚度指数系数。

式(1)表明结构刚度是厚度是非线性函数。各种形状的薄板类材料在不同工况下都适用该公式[6] [7]。假设原材料的弹性模量为 E_0 ，替换材料的弹性模量为 E_1 ，则由式(1)可得：

$$\delta_t = \frac{t_1}{t_0} = \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{1/\eta} \quad (2)$$

$$\delta_m = \frac{m_1}{m_0} = \frac{\rho_1}{\rho_0} \left(\frac{E_0}{E_1} \right)^{1/\eta} \quad (3)$$

式中： t_0 、 t_1 ——材料替换前后的厚度；

δ_t ——材料替换后与替换前的厚度之比；

δ_m ——材料替换后与替换前的质量之比。

在保证 LTCC 基板厚度不变的基础上，对密集孔区域进行等刚度分析。

3. 算例分析

1) LTCC 基板的 CAD 模型及简化模型

LTCC 基板具有较大面积的密集孔区域，其 CAD 模型如下图 1 所示：

为了方便对密集孔区域的等效研究，对 LTCC 基板其它特征暂不进行分析，主要保留部分密集孔区域作为研究对象。简化后的模型如下图 2 和图 3 所示：

2) LTCC 基板无孔模型的刚度分析

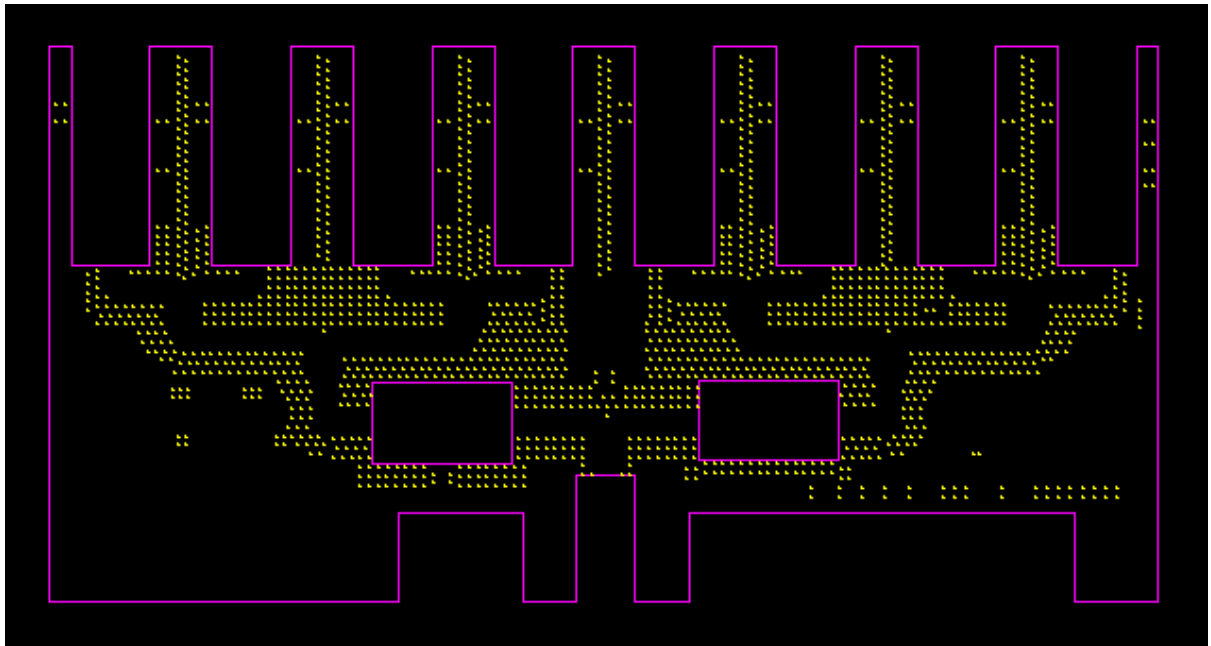


Figure 1. LTCC substrate CAD model

图 1. LTCC 基板 CAD 模型

1
VOLUMES
TYPE NUM

ANSYS
OCT 14 2016
09:05:03

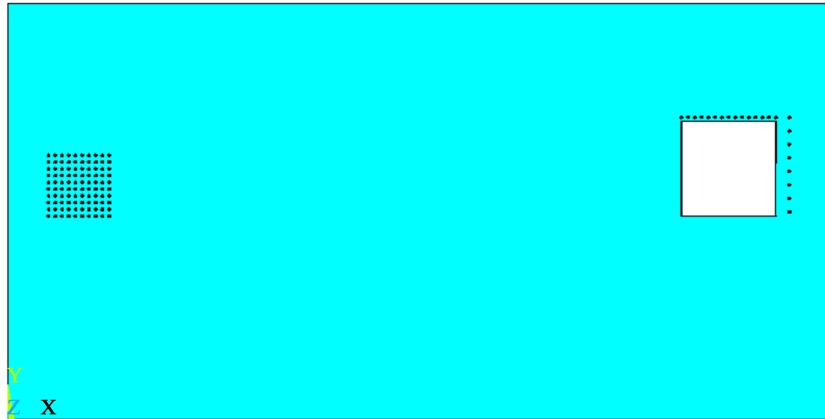


Figure 2. Simplification of LTCC substrate with holes

图 2. LTCC 基板有孔简化模型

1
VOLUMES
TYPE NUM

ANSYS
NOV 4 2016
14:58:53

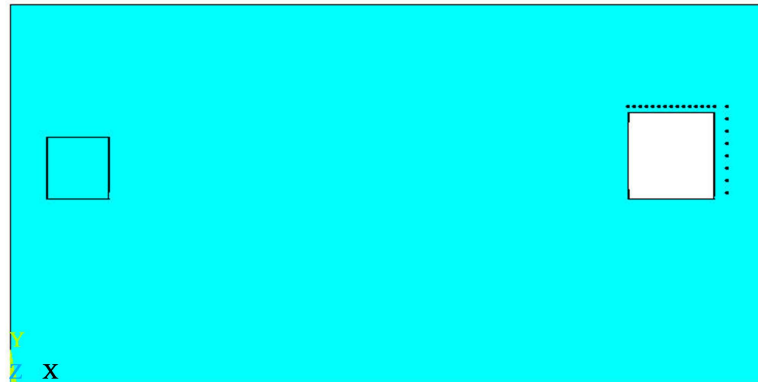


Figure 3. Non-porous equivalent model of LTCC substrate

图 3. LTCC 基板无孔等效模型

本次采用一块简化基板进行密集孔的简化分析。建立相应的有限元模型进行分析。分析采用施加均匀载荷和集中载荷两种方法。为了更好的分析对比密集孔区域模型简化的等效性，消除无关变量因素的干扰，采用控制变量的方法进行分析对比。无孔简化模型在孔密集处的弹性模量采用 $4.1e10$ Pa (对于简化板的弹性模量的数据的来历为实验法)。

对 LTCC 简化后的无孔模型进行热应力分析。其简化后的模型如下图 4~8 所示：

当对模型施加集中外力载荷时，约束条件为基板四周约束。考虑集中载荷施加位置的不同对等效区域节点位移的影响，在分析中选取基板宽度方向对称面上对应四点位置施加集中载荷，仿真分析结果云图如下图 9 所示。

1
VOLUMES
TYPE NUM

ANSYS



Figure 4. Simplified non-porous model
图 4. 简化后的无孔模型

1
ELEMENTS

ANSYS

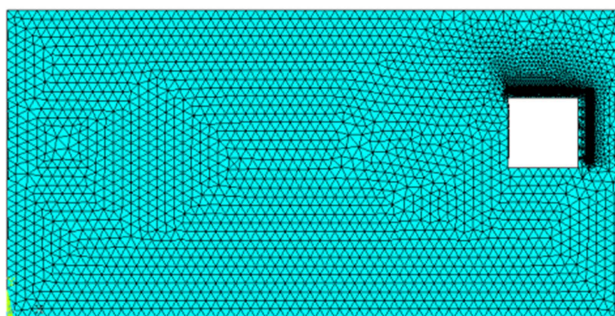


Figure 5. Simplified non-porous finite element model
图 5. 简化无孔有限元模型

1
VOLUMES
TYPE NUM

ANSYS
OCT 14 2016
09:05:03



Figure 6. Simplified hole model
图 6. 简化后的有孔模型

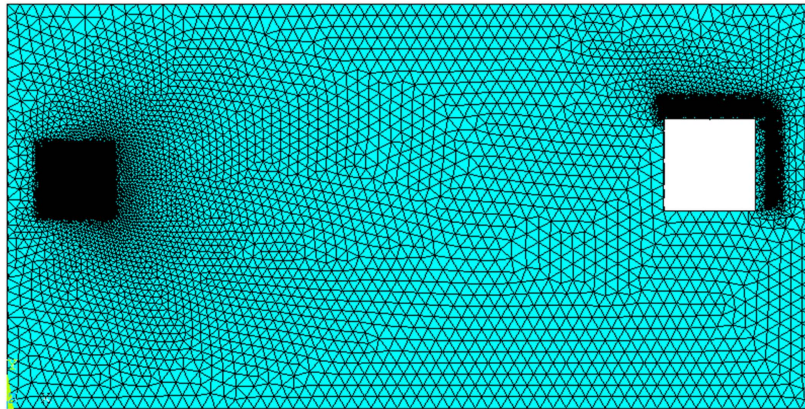
1
ELEMENTSANSYS
OCT 14 2016
09:04:25

Figure 7. Simplified hole finite element model
图 7. 简化后有孔有限元模型

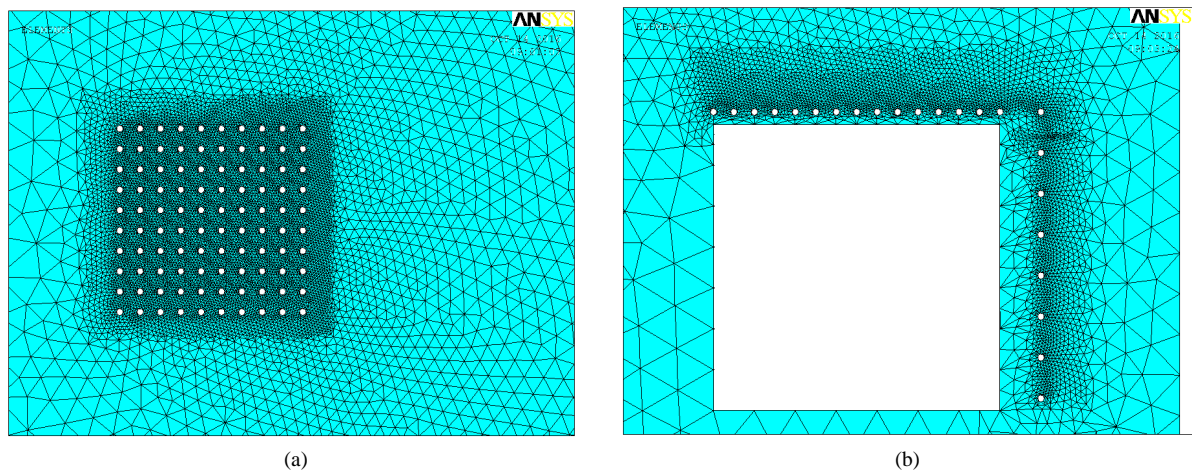


Figure 8. Simplified local model with holes
图 8. 简化后有孔局部模型

当对模型施加均布载荷时，仿真分析结果云图如下图 10 所示。

3) LTCC 基板有孔模型的刚度分析

对有孔模型施加集中外力载荷，约束条件为四周约束，同无孔模型分析时施加载荷方式相同，其仿真分析结果云图如下图 11 所示。

当对模型施加均布载荷时，仿真分析结果云图如下图 12 所示。

4) 结果分析

根据以上分析结果可以看出，无孔简化模型与孔模型的节点位移十分接近，达到了较高水平的模拟等效。下面将通过局部区域节点的具体位移值进行详细说明。对密集孔简化的正方形区域采用查看四个顶点以及几何中点等五点处的节点位移进行分析对比。如表 1 所示。

通过对等效前后模型施加相同外力载荷进行有限元分析，对比两种模型对应位置的节点位移情况，分析两种模型的刚度等效情况。通过表 2 可以看出，在施加均布载荷情况下，有孔模型和无孔等效模型

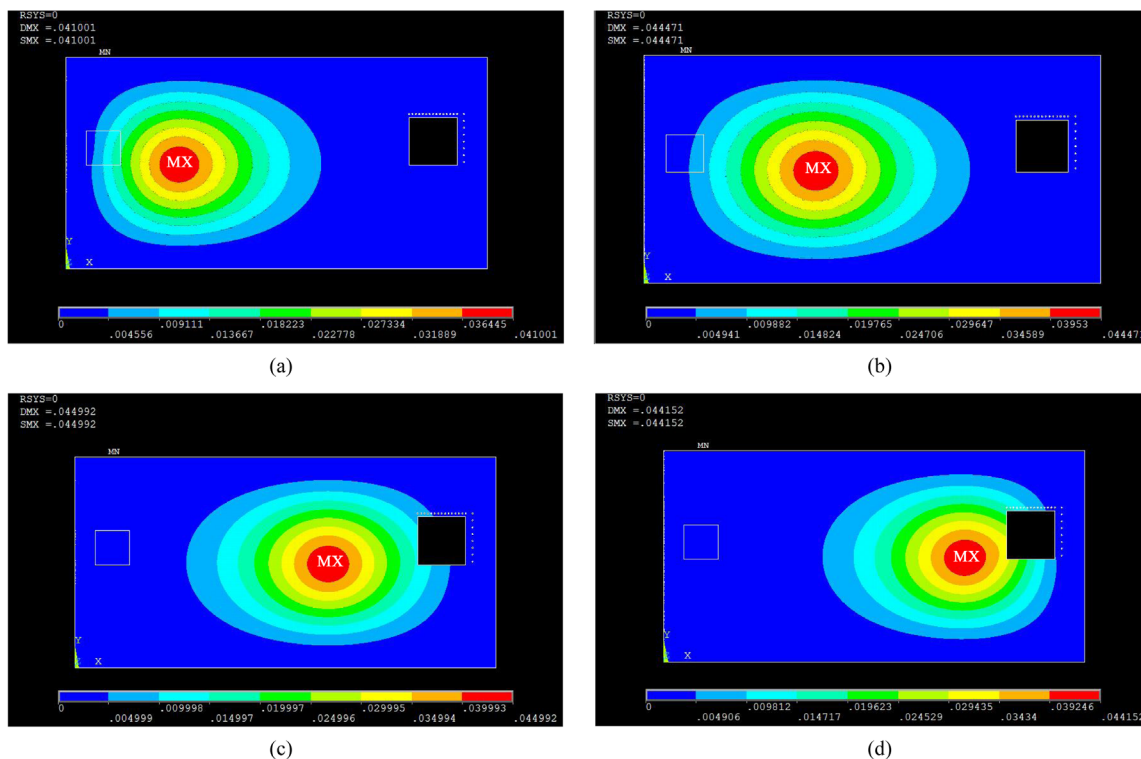


Figure 9. Nodal simplification model node displacement at concentrated load of 40 N
图 9. 无孔简化模型 Z 向集中载荷 40 N 时的节点位移

Table 1. Node displacement comparison table when applying concentrated load
表 1. 施加集中载荷时节点位移对照表

载荷位置	无孔模型	有孔模型	误差率
	采点位置值	采点位置值	
图 a 位置	0.29440E-02	0.28375E-02	3.75%
	0.17644E-01	0.14401E-01	22.5%
	0.13800E-01	0.11634E-01	18.5%
	0.23668E-02	0.23345E-02	1.38%
	0.90830E-02	0.88186E-02	3%
图 b 位置	0.12376E-02	0.12677E-02	-2.3%
	0.82672E-02	0.78229E-02	5.68%
	0.66219E-02	0.68451E-02	-0.33%
	0.10092E-02	0.10633E-02	-5.1%
	0.39384E-02	0.36757E-02	8.37%
图 c 位置	0.91973E-04	0.89402E-04	2.88%
	0.82071E-03	0.77343E-03	6.1%
	0.62935E-03	0.64257E-03	-2%
	0.67342E-04	0.66956E-04	0.5%
	0.31012E-03	0.26117E-03	18.7%
图 d 位置	0.17115E-05	0.15996E-05	7%
	0.10404E-03	0.99722E-04	4.3%
	0.67608E-04	0.66863E-04	1.1%
	0.16094E-05	0.16304E-05	-1.3%
	0.12678E-04	0.12395E-04	2.3%

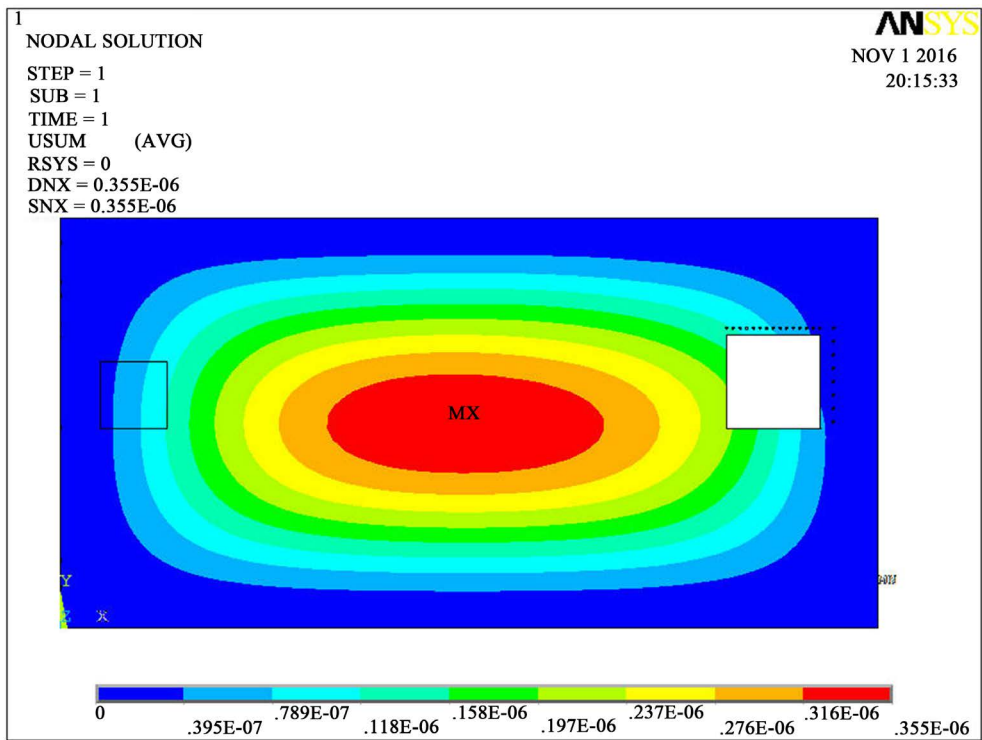


Figure 10. Nodal simplified model for node displacement under uniform load
 图 10. 无孔简化模型在均布载荷下的节点位移

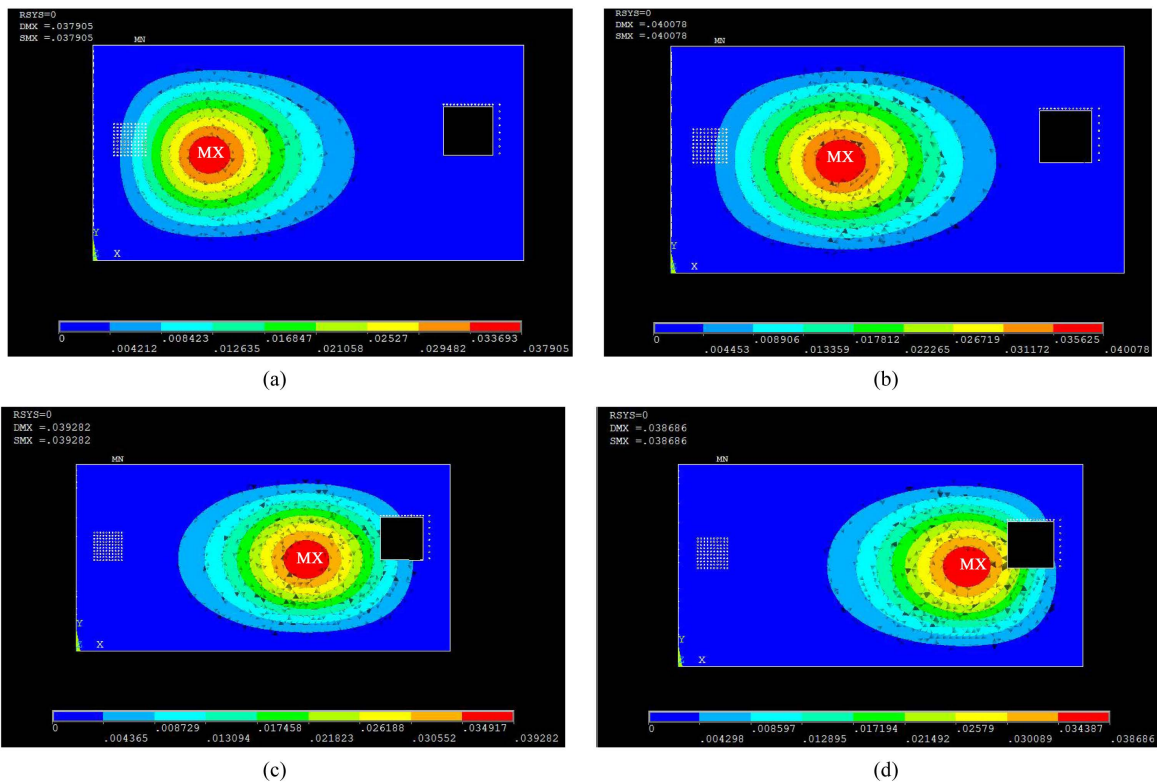


Figure 11. Nodal displacement of a model with Z-direction concentrated load of 40 N
 图 11. 有孔模型 Z 向集中载荷 40 N 时的节点位移

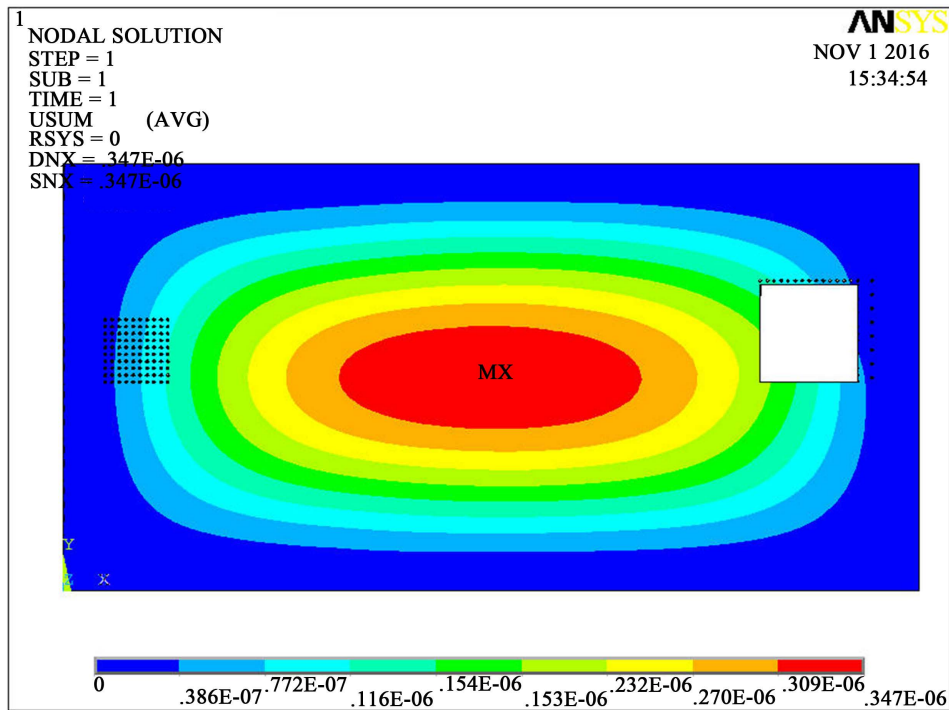


Figure 12. Nodal displacement when hole model is uniformly loaded
图 12. 有孔模型均布载荷时的节点位移

Table 2. Nodal displacements table when uniform load is applied
表 2. 施加均布载荷时节点位移对照表

	均布载荷时节点位移				
采点位置	左上方	左上方	左上方	左上方	左上方
有孔模型	0.25582e-7	0.25582e-7	0.25582e-7	0.25582e-7	0.25582e-7
无孔模型	0.22571e-7	0.22571e-7	0.22571e-7	0.22571e-7	0.22571e-7
误差率	-11.7%	5.3%	-10%	8%	2.3%

的节点位置值误差最大为 11.7%，最小达 2.3%，反映两种模型的刚度近似相等，满足本文对密集孔区域的等效要求。通过在模型四个不同位置施加相同集中外力载荷，分析两种模型相应位置的节点位移情况，结果如表 1 所示，节点位移值误差率相对较小，即在外力载荷作用的位置对模型等效区域的刚度几乎没有影响。因此，模型简化结果基本合理，简化模型可用。

误差来源分析：一，所选节点的数目有限，不能全面覆盖其所有位置的节点位移情况；二，由于本模型所选单元为实体单元，尤其在边角处及小孔附近节点数量较多，比较密集，所选节点位置的偏差是导致误差浮动比较明显的主要原因。

4. 结论

LTCC 基板上大片密集孔区域的存在，是电子类产品实现向重量轻、体积小、成本低的方向发展的体现之一。在分析过程中，对 LTCC 基板密集孔区域进行建模和等效模型建模，进行刚度有限元分析。基于等刚度理论对等效模型区域材料弹性模量的替换，通过对比不同位置外力载荷作用及均布载荷作用下两种模型相应位置的节点位移值，可知，等效前后两种模型的节点位移值近似相等，即反映等效前后

两种模型的刚度值近似相等, 实现了对 LTCC 基板上密集孔区域的等效, 达到了简化模型、提高计算精度和减少计算时间的目的, 为具有相似特征的 LTCC 基板的有限元分析奠定基础。

基金项目

国防科工局技术基础科研资助项目(JSZL2015210B007)。

参考文献 (References)

- [1] 晁宇晴, 王贵平, 吕琴红, 刘瑞霞, 何中伟. 我国 LTCC 多层基板制造技术标准现状及需求研究[J]. 印制电路信息, 2012(5): 57-61.
- [2] 赵海龙, 尹丽晶, 彭浩, 任赞. LTCC 基板装配过程中的开裂失效研究[J]. 电子质量, 2017(5): 18-23.
- [3] Nawawy, E.I. and Korzcc, M. (2011) The Design of 80 GHz Antenna Array on LTCC Substrate. *IEEE GCC Conference and Exhibition*, 19-22 February 2011, Dubai, 217-220. <https://doi.org/10.1109/IEEGCC.2011.5752507>
- [4] 周琪. 低温共烧陶瓷技术发展现状及趋势[J]. 科技经济市场, 2009(4): 25-26.
- [5] 杨邦朝, 胡永达. LTCC 技术的现状和发展[J]. 电子元件与材料, 2014, 33(11): 5-9.
- [6] 郭永奇, 黄小征, 王帅, 李飞. 基于等刚度原理的碳纤维发动机罩开发[J]. 汽车实用技术, 2017(19): 100-103.
- [7] 吕毅宁, 吕振华. 基于等刚度条件的薄壁结构的一种材料替代轻量化设计分析方法[J]. 机械工程学报, 2009, 45(12): 289-294.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2167-6631, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: met@hanspub.org