

情况说明

本人张力，职工号0618554，为专利“基于机器学习的3D芯片信号耦合性分析”的第一发明人。唐恩瑶为该发明的第二发明人，谨此证明。

张力
2020.9.3



国家知识产权局

310013

浙江省杭州市西湖区玉古路 147 号黄鸿年科技综合大楼 215 室
杭州求是专利事务所有限公司 刘静(057187911326-809)

发文日:

2020 年 06 月 08 日



申请号或专利号: 202010511973.7

发文序号: 2020060802032240

专 利 申 请 受 理 通 知 书

根据专利法第 28 条及其实施细则第 38 条、第 39 条的规定, 申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日、申请人和发明创造名称通知如下:

申请号: 202010511973.7

申请日: 2020 年 06 月 08 日

申请人: 浙江大学

发明创造名称: 一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统和方法

经核实, 国家知识产权局确认收到文件如下:

实质审查请求书 每份页数:1 页 文件份数:1 份

说明书 每份页数:6 页 文件份数:1 份

专利代理委托书 每份页数:2 页 文件份数:1 份

发明专利请求书 每份页数:5 页 文件份数:1 份

权利要求书 每份页数:2 页 文件份数:1 份 权利要求项数: 7 项

说明书附图 每份页数:4 页 文件份数:1 份

说明书摘要 每份页数:1 页 文件份数:1 份

提示:

1. 申请人收到专利申请受理通知书之后, 认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时, 可以向国家知识产权局请求更正。
2. 申请人收到专利申请受理通知书之后, 再向国家知识产权局办理各种手续时, 均应当准确、清晰地写明申请号。
3. 国家知识产权局收到向外国申请专利保密审查请求书后, 依据专利法实施细则第 9 条予以审查。

审 查 员: 自动受理

审查部门: 专利局初审及流程管理部

200101
2019. 11

纸件申请, 回函请寄: 100088 北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 国家知识产权局受理处收
电子申请, 应当通过电子专利申请系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外, 以纸件等其他形式提交的文件视为未提交。

提示:

1. 申请人收到专利申请受理通知书之后, 认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时, 可以向国家知识产权局请求更正。
2. 申请人收到专利申请受理通知书之后, 再向国家知识产权局办理各种手续时, 均应当准确、清晰地写明申请号。
3. 国家知识产权局收到向外国申请专利保密审查请求书后, 依据专利法实施细则第 9 条予以审查。

张力

审 查 员: 自动受理

审查部门: 专利局初审及流程管理部

200101
2019.11

纸件申请, 回函请寄: 100088 北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 国家知识产权局受理处收
电子申请, 应当通过电子专利申请系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外, 以纸件等其他形式提交的文件视为未提交。

说明书摘要

本发明公开了一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统及方法，通过 TSV 通孔 3D 模型得到在不同的 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数下的 TSV 通孔的 S 参数，并分别存入 S2P 文件；建立 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型并根据 S2P 文件得到对应尺寸下的 RLGC 等效电路的电路参数；将 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数作为 BP 神经网络的输入，RLGC 等效电路的电路参数作为 BP 神经网络的输出，对 BP 神经网络进行训练，根据训练后的网络输出进行 S 参数仿真分析，分析结果即为对应尺寸下 TSV 通孔 3D 模型的传输特性。本发明中的神经网络是采用实际模型仿真和优化结果作为训练集，对于不同情况电路性能的分析更为灵活，具有更高的准确性。

一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统及方法

类型：发明专利

申请人：浙江大学

发明人名单：张力、唐思瑶、施叶昕、李原

第一发明人身份证号：420922198909260034

负责老师（姓名、电话、邮箱）：张力、13429899926、andyzhang926@zju.edu.cn

撰写人（姓名、电话、邮箱）：唐思瑶、18888923166、3170105799@zju.edu.cn

所属院系：信息与电子工程学院

校内编号：

指定图 3 为摘要附图

权利要求 7 项

权利要求书

1、一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统，其特征在于，该系统包括 TSV 通孔 3D 模型、TSV 通孔 RLGC 等效电路模型以及 BP 神经网络；

所述 TSV 通孔 3D 模型用于得到在不同的 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数下的 TSV 通孔的 S 参数，并分别存入 S2P 文件；

所述 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型具体为：电路模型两端的 Term 为 S 参数仿真中的端口，将两端口对应的点记为 A、B，两 TSV 通孔对称并分别接地，其中一个 TSV 通孔有两个接地点，记为 C、D，另外一个 TSV 通孔也有两个接地点，记为 E、F。两个电容值相同的电容并联后再与 PRC 以及一个电容串联在 A、C 两点之间，B、D 两点之间和 A、E 两点之间以及 B、F 两点之间的电路连接情况与 A、C 两点之间相同。C、D 两点之间串联一个电阻和一个电感。A、B 两点之间串联一个电阻和一个电感；TSV 通孔 RLGC 等效电路模型根据 S2P 文件得到对应尺寸下的 RLGC 等效电路的电路参数；

所述 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数作为 BP 神经网络的输入，RLGC 等效电路的电路参数作为 BP 神经网络的输出，对 BP 神经网络进行训练，训练后的网络可输出 RLGC 等效电路的电路参数，根据得到的电路参数进行 S 参数仿真分析，分析结果即为对应尺寸下 TSV 通孔 3D 模型的传输特性。

2、根据权利要求 1 所述一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统，其特征在于，所述 TSV 通孔为在 3D 芯片中通过层级之间传输信号的硅通道。

3、根据权利要求 1 所述一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统，其特征在于，所述 S2P 文件为一种双口网络文件，包含了该网络的 S 参数。

4、根据权利要求 1 所述的一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统，其特征在于：所述的 TSV 通孔 3D 模型利用 HFSS 建立并仿真得到，其设计尺寸参数选取了 TSV 长度、TSV 直径、TSV 间距，使用理想导电边界；忽略电频率对材料的影响，使用理想电导体建立模型，仿真频率的设置从 0Hz-10GHz。

5、根据权利要求 1 所述的一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统，其特征在于：所述的 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型通过电容电感之间的串并联增加电路的可适应性，使得通过改变器件的参数使电路的 S 参数与 S2P 文件相符。由于 TSV 通孔模型的对称性，RLGC 等效电路也成对称结构，仿真频率范围设置为 0GHz-10GHz，步长为 0.1GHz；S11 参数的优化赋予权重 1，将 S12 参数的优化赋予权重 420000。

6、根据权利要求 1 所述的一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统，其特征在

于：所述的 BP 神经网络（3）是线性的，通过插值的方式来增加训练集的点数。

7、一种应用权利要求 1 所述系统进行 3D 芯片信号耦合性分析的方法，其特征在于，包括以下步骤：

（1）利用 HFSS 建立并仿真得到 TSV 通孔 3D 模型，通过 TSV 通孔 3D 模型得到不同的 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数下的 TSV 通孔的 S 参数并分别存入 S2P 文件；

（2）建立 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型，具体为：电路模型两端的 Term 为 S 参数仿真中的端口，将两端口对应的点记为 A、B，两 TSV 通孔对称并分别接地，将对称的两接地点，对称的两部分接地点分别记为 C、D 和 E、F。两个电容值相同的电容并联后再与 PRC 以及一个电容串联在 A、C 两点之间，B、D 两点之间和 A、E 两点之间以及 B、F 两点之间的电路连接情况与 A、C 两点之间相同。C、D 两点之间串联一个电阻和一个电感。A、B 两点之间串联一个电阻和一个电感；

（3）将步骤（1）得到的 S2P 文件输入到步骤（2）建立的 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型中，得到对应尺寸下的 RLGC 等效电路的电路参数；

（4）TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数作为 BP 神经网络的输入，RLGC 等效电路的电路参数作为 BP 神经网络的输出，对 BP 神经网络进行训练；

（5）将 3D 芯片的 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数输入到训练后的 BP 神经网络中，输出对应尺寸的 RLGC 等效电路的电路参数，根据得到的电路参数进行 S 参数仿真分析，分析结果即为对应尺寸下 TSV 通孔 3D 模型的传输特性。

说明书

一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统及方法

技术领域

本发明涉及 3D 芯片信号传输领域，尤其涉及一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统及方法，用机器学习方法快速准确得到 3D 模型等效电路。

技术背景

随着电子元件、PCB 制造在尝试降低尺寸的道路上不断遇到障碍，需要相关设备在更小的维度上以更高的速度实现更多功能，摩尔定律愈发难以为继。工程师发现现有的封装技术限制在单一的平面上，无法继续朝着每 18 个月集成度翻番的目标前进，3D 芯片被认为是一种解决摩尔定律瓶颈的解决方法，因此 3D 芯片的需求日益强烈。3D 芯片具有更短传输距离、更高性能、更低功耗，逐步受到工程师青睐。但是相关技术的发展遇到越来越多的瓶颈。2014 年起，TSV 在一些国际会展上被多次提及，具有很好的发展前景。

而 TSV 立体集成工艺和设计中有一些关键技术难点，如 3D 芯片内部的电感耦合方式研究较少，需要提出合适的方法对其进行研究。

发明内容

为了解决背景技术中存在的问题，本发明为信号传输特性分析系统，提出了一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统，能够快速准确得到一定尺寸范围内 TSV 通孔对应的等效电路模型。

本发明采用的技术方案是：一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统，该系统包括 TSV 通孔 3D 模型、TSV 通孔 RLGC 等效电路模型以及 BP 神经网络；

所述 TSV 通孔 3D 模型用于得到在不同的 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数下的 TSV 通孔的 S 参数，并分别存入 S2P 文件；

所述 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型具体为：电路模型两端的 Term 为 S 参数仿真中的端口，将两端口对应的点记为 A、B，两 TSV 通孔对称并分别接地，其中一个 TSV 通孔有两个接地点，记为 C、D，另外一个 TSV 通孔也有两个接地点，记为 E、F。两个电容值相同的电容并联后再与 PRC 以及一个电容串联在 A、C 两点之间，B、D 两点之间和 A、E 两点之间以及 B、F 两点之间的电路连接情况与 A、C 两点之间相同。C、D 两点之间串联一个电阻和一个电感。A、B 两点之间串联一个电阻和一个电感；TSV 通孔 RLGC 等效电路模型根据 S2P 文件得到对应尺寸下的 RLGC 等效电路的电路参数；

所述 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数作为 BP 神经网络的输入, RLGC 等效电路的电路参数作为 BP 神经网络的输出, 对 BP 神经网络进行训练, 训练后的网络可输出 RLGC 等效电路的电路参数, 根据得到的电路参数进行 S 参数仿真分析, 分析结果即为对应尺寸下 TSV 通孔 3D 模型的传输特性。

进一步地, 所述 TSV 通孔为在 3D 芯片中通过层级之间传输信号的硅通道。

进一步地, 所述 S2P 文件为一种双口网络文件, 包含了该网络的 S 参数。

进一步地, 所述的 TSV 通孔 3D 模型利用 HFSS 建立并仿真得到, 其设计尺寸参数选取了 TSV 长度、TSV 直径、TSV 间距, 使用理想导电边界; 忽略电频率对材料的影响, 使用理想电导体建立模型, 仿真频率的设置从 0Hz-10GHz。

进一步地, 所述的 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型通过电容电感之间的串并联增加电路的可适应性, 使得通过改变器件的参数使电路的 S 参数与 S2P 文件相符。由于 TSV 通孔模型的对称性, RLGC 等效电路也成对称结构, 仿真频率范围设置为 0GHz-10GHz, 步长为 0.1GHz; S11 参数的优化赋予权重 1, 将 S12 参数的优化赋予权重 420000。

进一步地, 所述的 BP 神经网络 (3) 是线性的, 通过插值的方式来增加训练集的点数。

一种应用基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统进行 3D 芯片信号耦合性分析的方法, 包括以下步骤:

(1) 利用 HFSS 建立并仿真得到 TSV 通孔 3D 模型, 通过 TSV 通孔 3D 模型得到不同的 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数下的 TSV 通孔的 S 参数并分别存入 S2P 文件;

(2) 建立 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型, 具体为: 电路模型两端的 Term 为 S 参数仿真中的端口, 将两端口对应的点记为 A、B, 两 TSV 通孔对称并分别接地, 将对称的两接地点, 对称的两部分接地点分别记为 C、D 和 E、F。两个电容值相同的电容并联后再与 PRC 以及一个电容串联在 A、C 两点之间, B、D 两点之间和 A、E 两点之间以及 B、F 两点之间的电路连接情况与 A、C 两点之间相同。C、D 两点之间串联一个电阻和一个电感。A、B 两点之间串联一个电阻和一个电感;

(3) 将步骤 (1) 得到的 S2P 文件输入到步骤 (2) 建立的 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型中, 得到对应尺寸下的 RLGC 等效电路的电路参数;

(4) TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数作为 BP 神经网络的输入, RLGC 等效电路的电路参数作为 BP 神经网络的输出, 对 BP 神经网络进行训练;

(5) 将 3D 芯片的 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数输入到训练后的 BP 神经网络中, 输出对应尺寸的 RLGC 等效电路的电路参数, 根据得到的电路参数进行 S 参数

仿真分析，分析结果即为对应尺寸下 TSV 通孔 3D 模型的传输特性。

本发明的主要优势在于：

(1) 分析效率高

由于神经网络由输入层、若干隐含层、输出层组成，每层的节点数量都不会太多，层数也不会太多，因此预测器的计算时间非常短暂，可以快速完成等效电路参数的计算。

(2) 准确度高

相比于固定的计算公式，本发明中的神经网络是采用实际模型仿真和优化结果作为训练集，对于不同情况电路性能的分析更为灵活，所以具有更高的准确性。

附图说明

图 1 为 TSV 通孔 3D 模型示意图；

图 2 为 TSV 通孔 3D 模型仿真结果图；

图 3 为 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型示意图；

图 4 为 TSV 通孔 RLGC 等效电路优化结果验证示意图；

图 5 为 BP 神经网络示意图；

图 6、图 7 为 BP 神经网络预测结果示意图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明的具体实施方式做进一步说明。

本发明提出了一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析系统，该系统包括 TSV 通孔 3D 模型、TSV 通孔 RLGC 等效电路模型以及 BP 神经网络；所述 TSV 通孔为在 3D 芯片中通过层级之间传输信号的硅通道。

如图 1 所示，使用 HFSS 软件构建并仿真得到 TSV 通孔 3D 模型，以模型的能量耗散与传递能力为指标进行分析，在所有的设计尺寸参数中，选取了对指标影响较大的设计参数，包括 TSV 长度、TSV 直径、TSV 间距，作为主要的影响因素。考虑理想的 TSV 通孔 3D 模型，仅考虑 TSV 对自身能量传输的影响，在模型的建立上使用理想导电边界；忽略电频率对材料的影响，使用理想电导体建立模型。关注模型在不同电频率下产生的耗散与传输特性并以此作为仿真设置，频率的设置从 0Hz-10GHz，兼顾考虑低频到高频变化的趋势。所述 TSV 通孔 3D 模型用于得到在不同的 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数下的 TSV 通孔的 S 参数，并分别存入 S2P 文件；所述 S2P 文件为一种双口网络文件，包含了该网络的 S 参数。仿真分析不同设计参数对能量耗散与传输的影响，因此对不同的设计参数进行仿真。以获得不同设计参数下的模型电学特性数据。得到的大量数据作为不同下的标准数据，用于之后的等效电路模型仿真与机器学习分析。

在仿真时设置 TSV 通孔的半径参数以 $2\mu\text{m}$ 步长遍历 $91\mu\text{m}$ 至 $109\mu\text{m}$ ；设置 TSV 通孔的高度参数以 $2\mu\text{m}$ 步长遍历 $91\mu\text{m}$ 至 $109\mu\text{m}$ ；设置 TSV 通孔的半径参数以 $2\mu\text{m}$ 步长遍历 $91\mu\text{m}$ 至 $109\mu\text{m}$ ；设置 TSV 通孔的半径参数以 $0.6\mu\text{m}$ 步长遍历 $27.3\mu\text{m}$ 至 $32.7\mu\text{m}$ ；

如图 2 所示，是最终仿真得到的结果，随着不同参数改变，模型的特性在高频与低频都发生了一定的变化，之后通过机器学习分析设计参数对特性的具体影响。结合实际情况，将 S 参数仿真频率范围设置为 0GHz - 10GHz ，步长为 0.1GHz 。图 2 中横坐标为 S 参数仿真频率，单位 GHz ，纵坐标是 S 参数，单位是 dB 。

如图 3 所示，建立与 TSV 通孔具有相同信号传输特性的 RLGC 等效电路模型，并不断完善使电路结构适用于更大尺寸范围内的 TSV 通孔。所述 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型具体为：电路模型两端的 Term 为 S 参数仿真中的端口，将两端口对应的点记为 A、B，两 TSV 通孔对称并分别接地，其中一个 TSV 通孔有两个接地点，记为 C、D，另外一个 TSV 通孔也有两个接地点，记为 E、F。两个电容 C3 和 C5 并联，电容值均记为 $C3\text{pF}$ ，再与电容值为 $C2\text{fF}$ 、电阻值为 $R1\text{k}\Omega$ 的 PRC 以及电容值为 $C1\text{pF}$ 的电容值串联在 A、C 两点之间。B、D 之间电路连接情况与 A、C 相同。C、D 点之间串联阻值为 $R\text{m}\Omega$ 的电阻 R1 和电感值为 $L1\text{pH}$ 的电感 L1。A、B 点之间串联阻值为 $R\text{m}\Omega$ 的电阻 R3 和电感值为 $L2\text{pH}$ 的电感 L3。通过电容电感之间的串并联增加电路的可适应性，使得通过改变器件的参数使电路的 S 参数与 S2P 文件相符。整体上由于 TSV 通孔模型的对称性，RLGC 等效电路也成对称结构。TSV 通孔 RLGC 等效电路模型根据 S2P 文件得到对应尺寸下的 RLGC 等效电路的电路参数；

电路优化有两个主要指标，一个是 TSV 通孔的 S_{11} 参数（在优化目标中记为 $S(3,3)$ ）与等效电路的 S_{11} 参数（在优化目标中记为 $S(1,1)$ ）的契合程度，通过设置 Expr（优化目标）为“ $\text{dB}(S(1,1))-\text{dB}(S(3,3))$ ”尽可能小来使这两个参数达到一定的契合度；另一指标为 TSV 通孔的 S_{12} 参数（在优化目标中记为 $S(3,4)$ ）与等效电路的 S_{12} 参数（在优化目标中记为 $S(1,2)$ ）的契合程度，通过设置 Expr（优化目标）为“ $\text{dB}(S(3,4))-\text{dB}(S(1,2))$ ”尽可能小来使这两个参数达到一定的契合度。 S_{11} 参数的优化赋予权重 1，将 S_{12} 参数的优化赋予权重 420000。

经过多次优化后总结出二者 S_{11} 参数契合程度较高，故将 S_{11} 参数的优化赋予较小的优化比重将 S_{12} 参数的优化赋予较高的优化权重。同时不断调整 S_{12} 优化参数设置中不同频率范围所占的优化比重，最终在优化比重 $1\text{GHz}-6\text{GHz}:6\text{GHz}-8\text{GHz}:8\text{GHz}-10\text{GHz}=100:1:100$ 时达到整体仿真效果在 $2-10\text{GHz}$ 范围内基本两者一致。优化方式采用梯度优化法。

通过更换不同的 TSV 通孔的 S2P 文件进行优化可以得到范围内一系列尺寸 TSV 通孔对应的等效电路参数，以其中一组 TSV 尺寸为例，各参数优化结果为 $L1=2.22612$ 、 $L2=19.9983$ 、 $R1=0.0100135$ 、 $R=21.8112$ 、 $C1=0.0114504$ 、 $C2=19.9985$ 、 $C3=1.30106$ 。并验证如图 4 所示，

其中标有圆圈的曲线为导入的 S 参数。

通过不断更换不同尺寸 TSV 通孔的 S2P 参数文件（即不断更换优化目标）得到大量 TSV 对应的等效电路参数以用于训练神经网络。如图 5 所示，所述神经网络为 BP 神经网络，含有输入层、若干隐含层、输出层，每个节点只从前一层的节点获取信息，信息传递是单向的。使用该网络可以简便、快速地完成训练，其中 $x_1 \sim x_n$ 代表输入量， $o_1 \sim o_j$ 代表输出量。所述 TSV 通孔的半径、高度和通孔之间的距离参数，以及 RLGC 等效电路的电路参数作为训练集对 BP 神经网络进行训练，TSV 通孔的半径、高度和通孔之间的距离参数作为 BP 神经网络的输入，RLGC 等效电路的电路参数作为 BP 神经网络的输出。

由于神经网络是线性的，如果训练集数据存在明显的突变，往往没有办法训练出好的预测器。此时可以通过插值的方式来增加训练集的点数，这样就可以缓和突变性，避免在某些点发生突变而导致预测出错。训练集包含数据集和测试集，图 6 和图 7 为数据集曲线、测试集曲线和预测器结果曲线，发现两者存在明显差异且不容易通过调节学习率、迭代次数等参数来提高争取率。此时可以先使用插值的方式来处理数据集，使用插值后的数据集进行训练结果要好很多。

训练后的网络可输出 RLGC 等效电路的电路参数，根据得到的电路参数使用 ADS 进行 S 参数仿真分析，分析结果即为对应尺寸下 TSV 通孔 3D 模型的传输特性。

本发明还提出了一种基于机器学习的 3D 芯片信号耦合性分析的方法，包括以下步骤：

（1）利用 HFSS 建立并仿真得到 TSV 通孔 3D 模型，通过 TSV 通孔 3D 模型得到不同的 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数下的 TSV 通孔的 S 参数并分别存入 S2P 文件；

（2）建立 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型，具体为：电路模型两端的 Term 为 S 参数仿真中的端口，将两端口对应的点记为 A、B，两 TSV 通孔对称并分别接地，将对称的两接地点，对称的两部分接地点分别记为 C、D 和 E、F。两个电容值相同的电容并联后再与 PRC 以及一个电容串联在 A、C 两点之间，B、D 两点之间和 A、E 两点之间以及 B、F 两点之间的电路连接情况与 A、C 两点之间相同。C、D 两点之间串联一个电阻和一个电感。A、B 两点之间串联一个电阻和一个电感；

（3）将步骤（1）得到的 S2P 文件输入到步骤（2）建立的 TSV 通孔 RLGC 等效电路模型中，得到对应尺寸下的 RLGC 等效电路的电路参数；

（4）TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数作为 BP 神经网络的输入，RLGC 等效电路的电路参数作为 BP 神经网络的输出，对 BP 神经网络进行训练；

（5）将 3D 芯片的 TSV 通孔的半径、高度以及通孔之间的距离参数输入到训练后的 BP

神经网络中，输出对应尺寸的 RLGC 等效电路的电路参数，根据得到的电路参数进行 S 参数仿真分析，分析结果即为对应尺寸下 TSV 通孔 3D 模型的传输特性。

上述实施例用来解释说明本发明，而不是对本发明进行限制，在本发明的精神和权利要求的保护范围内，对本发明作出的任何修改和改变，都落入本发明的保护范围。

说明书附图

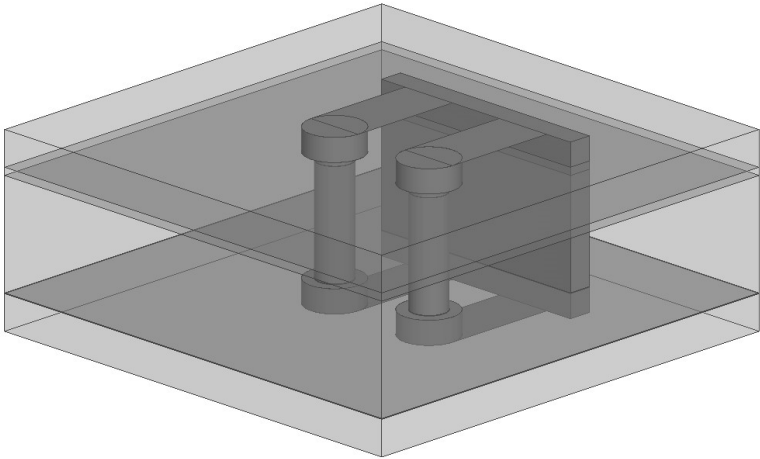


图 1

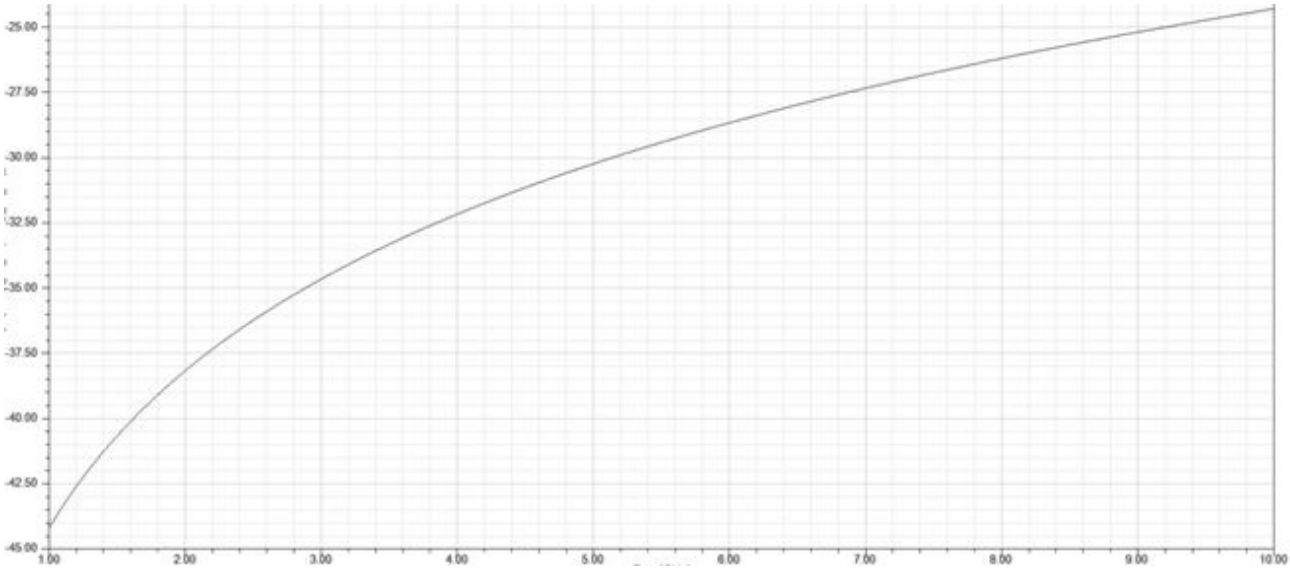


图 2

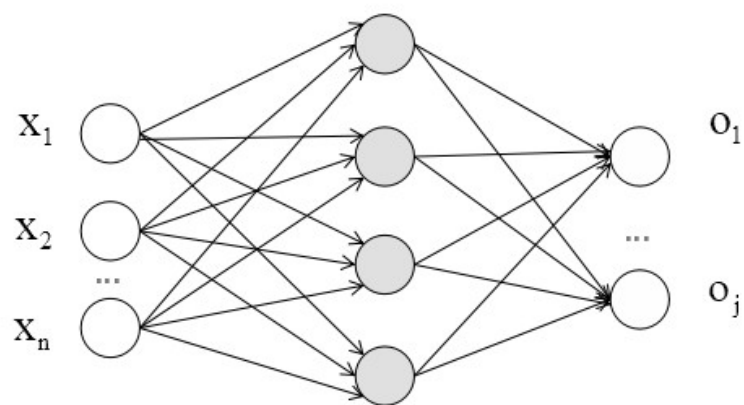


图 5

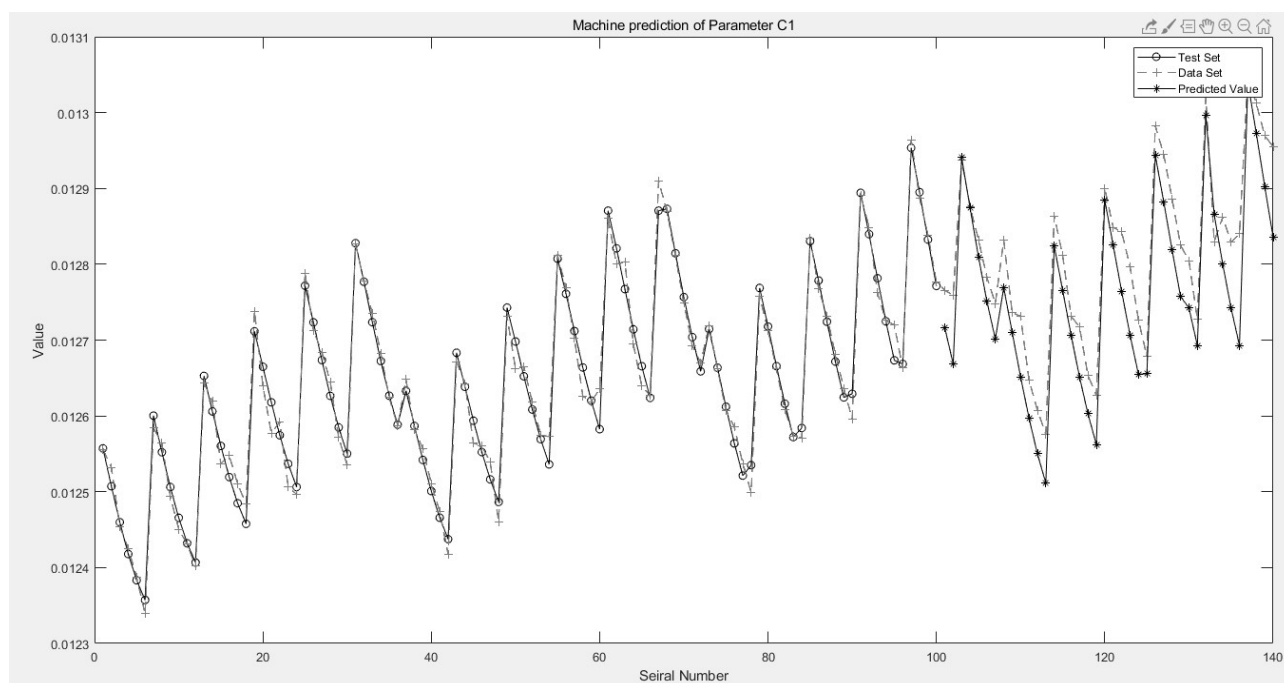


图 6

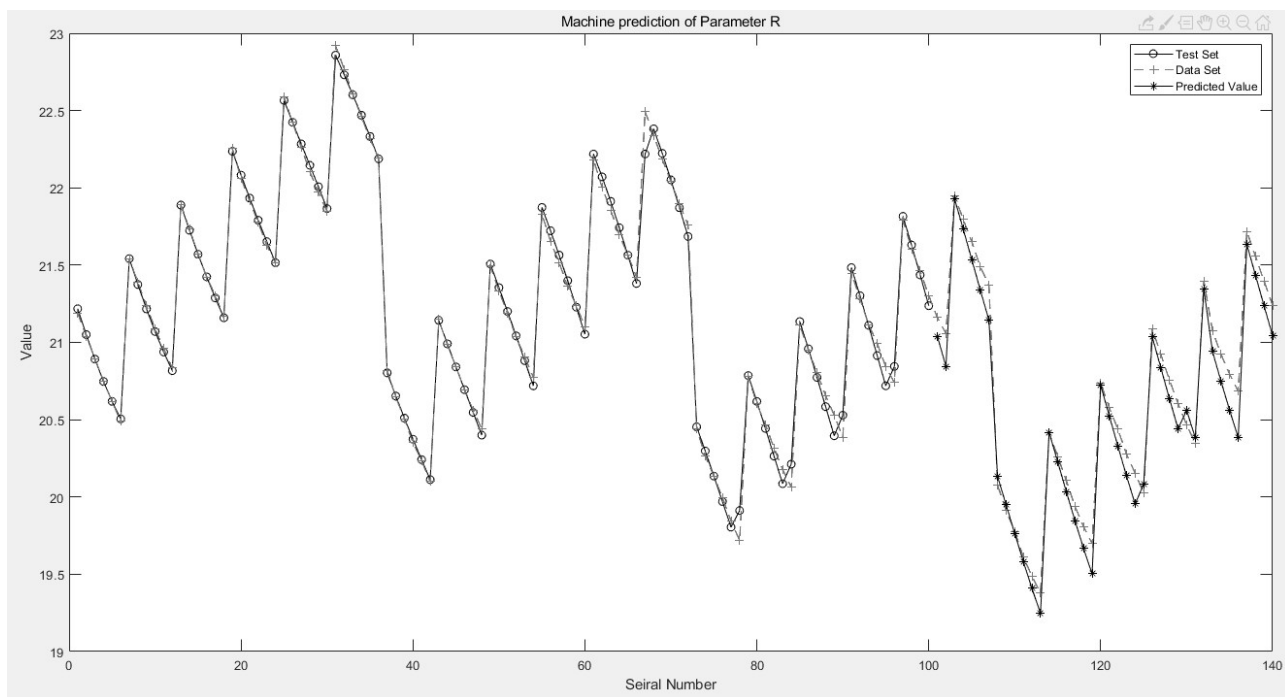


图 7