

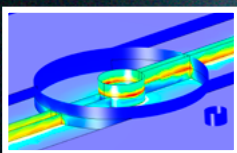
多物理场仿真

IEEE
SPECTRUM

2015年9月

COMSOL

赞助



英特尔改进
信号完整性及速度
P 18

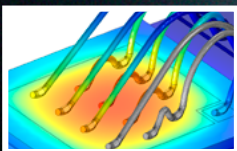


ABB 延长
功率晶体管寿命
P 20

仿真助力
WITRICITY 研发
无线充电技术

P 8

仿真 App 正成为主流

作者: JAMES A. VICK, IEEE MEDIA 高级总监

发行方: 《IEEE SPECTRUM》

本期《多物理场仿真》杂志有可能改变您对仿真行业的看法。如果您还将仿真看作极少数研发精英的专业领域,那您很可能会惊讶于本期将读到的内容。高昂的成本,以及定制化仿真与分析工具的匮乏,这些将不再成为阻止仿真是为人人所用的障碍。

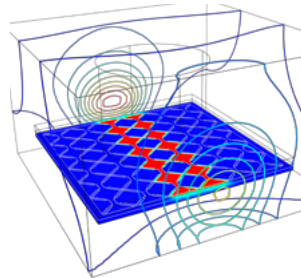
简单易用的专业仿真 App 正在成为业界主流。在企业使用仿真 App 促进研发方面,赛普拉斯半导体(Cypress Semiconductors)堪称典范。这是一家位于加利福尼亚圣何塞市的半导体公司,以其智能手机触摸屏解决方案而闻名,他们正使用仿真 App 来帮助各种用户及辅助工业产品的设计。模拟与仿真触摸屏中的电容传感器由公司的研发工程师完成,然而,他们并没有选择为每个案例重复运行仿真的做法,而是开发出了易于使用的仿真 App,并分发给其他部门使用。现在,公司遍布全球的客户支持团队随时都可以访问这些 App,他们能够轻松上手使用,不需要经过任何培训,而所花成本也仅是部署全特征模型的一小部分。并且可以在同一个软件环境中完成 App 的创建过程与分发。

本期《多物理场仿真》由 COMSOL, Inc. 赞助,是您学习仿真 App 设计和创新仿真项目的宝贵资料。如果您正在研究电源部件设计,那么不妨先读一下有关 Witricity 公司无线能量传输的文章。石墨烯是近期的另一个热门话题,已被用在了诸多现实的生活环境中。在本期杂志中,来自普渡大学(Purdue University)的专家将讨论如何高效精确地模拟石墨烯及光子元器件。

祝您阅读愉快,希望您能从本期《多物理场仿真》杂志中获得启发! ☺

Email: jv.ieeemedia@ieee.org

目录



3 灵敏触摸屏的设计之路

— Cypress Semiconductors, San Jose, CA, USA

6 COMSOL App 带来仿真行业的“民主化”

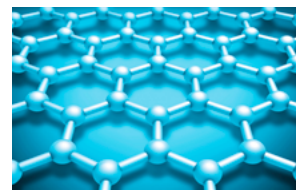
— COMSOL, Burlington, MA, USA

8 WiTricity 借助磁共振实现灵活的无线充电

— Witricity, Watertown, MA, USA

11 Medtronic 借助多物理场仿真推进消融治疗技术发展

— Medtronic, Boulder, CO, USA



14 石墨烯为下一代表面等离激元铺平道路

— Purdue University, West Lafayette, IN, USA

18 打破常规, 实现更快的信号与模拟速度

— Intel, Guadalajara, Mexico

20 延长大功率电气系统的使用寿命

— ABB Semiconductors, Lenzburg, Switzerland

24 集成传感器设计进一步提升葡萄糖监测水平

— Roche Diagnostics, Indianapolis, IN, USA

27 富士胶片集团对打印头单层压电片驱动器进行的仿真

— Fujifilm Dimatrix, Lebanon, NH, USA

30 借助高性能计算进行仿真, 定制化设计大功率电子器件

— BLOCK Transformatoren-Elektronik, Verden, Germany



32 仿真 App 简化了电力电子的设计

— Arkansas Power Electronics, Fayetteville, AR, USA

封面图片: 停在充电板上进行无线充电的电动汽车。Witricity 正和汽车制造、电子产品制造、医用植入材料设计等多个技术领域的公司合作, 希望能提升产品效率, 创造更好的用户体验。请前往第 8 页阅读完整故事。

图片由 Witricity 提供。

灵敏触摸屏的设计之路

在智能手机、笔记本电脑、汽车和工业应用，以及家用电器等领域，赛普拉斯半导体正借助仿真来优化触摸屏的设计。

作者：ALEXANDRA FOLEY

不论是打电话、发短信，还是希望“愤怒的小鸟”（Angry Birds）游戏再过一关，都需要在拿起智能手机之后与之互动。不论手指大小，是否刚涂过护手霜，抑或手机是不是放在平坦的表面上，触摸屏都会即时做出响应，把另一个来农场“偷动物”的小偷绳之以法。

赛普拉斯半导体（Cypress Semiconductors）是智能手机触摸屏和触摸传感解决方案的领先供应商，公司工程师正努力保证这些触摸屏解决方案能在各种条件下完美工作。“并非只是针对智能手机，”赛普拉斯触摸屏模拟小组的成员 Peter Vavaroutsos 解释说，“我们的技术将被用在智能手机、mp3 播放器、笔记本电脑、汽车、工业应用、家用电器等众多应用领域中，这当中每一个应用的设计需求都各不相同。”

在电子行业，电容触摸屏（见图 1 上）是触摸传感技术最常见的应用领域，其中包含透明镜片、基底、粘合剂以及铟锡氧化物（ITO）电极等结构层。这些元素的组合称作触摸屏面板（TSP）或层叠。每个层叠和电极图案设计都会根据使用产品的类型、预期环境和用途进行定制。每个层叠（示例见图 1 下）都包括一层 LCD 层，之上是基底，再之上是一层水平及垂直对齐的菱形 ITO 电极图案，最后是一层光学透明的粘合剂层，负责将玻璃罩粘在屏幕上。

在赛普拉斯，多物理场仿真和仿真 App 已经成为保

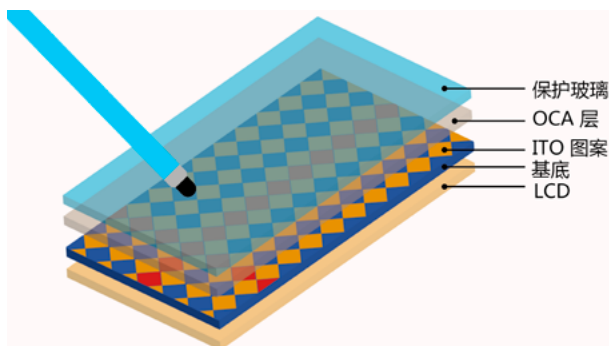


图 1: 上: 电容触摸屏模块。下: 典型的触摸屏传感器层叠, 根据电极耦合电容的变化监测出手写笔的位置。

证高效产品研发的重要工具。现在，设计人员无需开发各种物理样机就能预测各种设计的行为表现，并对其进行优化。

» 工程法则

根据通用的经验法则，触摸屏必须能够精确跟踪手指或手写笔的位置。这意味着，在任意时间点，触摸屏都要能够判断出它正被各种大小不一的对象触碰，还要能够确定被触摸的位置、时长，

以及“触摸对象”是否正沿着特定方向移动。为了实现这一点，电容传感器中包含了水平及垂直连接的 ITO 电极图案，用于感应位于格点交叉处的触摸对象。当手指或手写笔触碰屏幕表面时，静电场将发生扭曲，发射和接收电极之间的耦合电容会出现一个可测量的变化（见图 1 下）。

层叠组件会根据触摸屏的使用位置及使用方式进行方式不一的配置。

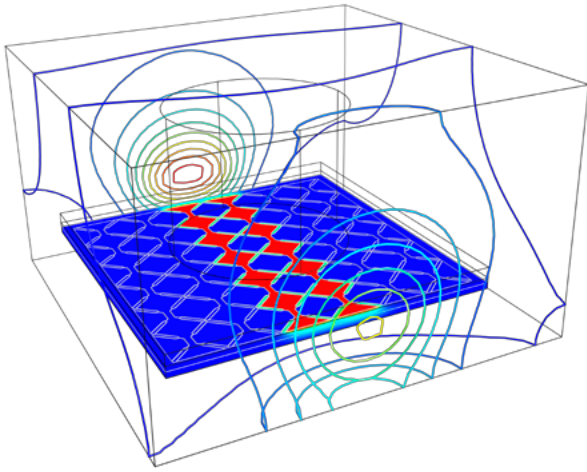


图 2: 使用 COMSOL Multiphysics 的 AC/DC 模块模拟了触摸传感器中的电场线。

“汽车行业触摸屏层叠的设计与其他应用不同，比如笔记本电脑中的触摸屏，” Vavaroutsos 介绍，

“我在赛普拉斯的工作主要是负责为不同的消费产品设计不同的层叠，举个例子，水平安装的 GPS 与能通过各种方式与用户交互的手持式智能手机中的交互方式就不同，这些都是我需要考虑的内容。”

赛普拉斯的研发工程师针对特定设备的几何结构和许多不同的参数开发了多个静电仿真模型，团队把它们叫做“设计箱”。

“我们根据具体设计箱做出的成果随后能够提供给销售工程师和客户支持团队使用，之

后他们就能按照客户的具体需求来优化某个设计参数。” Vavaroutsos 解释说。

赛普拉斯的研发工程师用 COMSOL Multiphysics® 仿真软件分析了 ITO 图案，以便确定其电气性能，包括测量手写笔或手指触碰屏幕时电极之间互电容的变化。在图 2 的示例中，赛普拉斯的工程师们在静电模型中使用了悬浮电位边界条件，这一特征使他们能够模拟触摸对象、电屏蔽的边界或尚未被激励的电极。受施加的外部电场的影响，这些对象持续处于恒定但未知的电势，因此被表征为电荷可以在其上自由再分配的表面。

“由于与屏幕的交互

方式多样，为了能够针对特定器件或产品优化一款层叠，我们需要运行多次静电仿真以便测试不同位置处的触摸对象。” Vavaroutsos 说，“我们会尽量使一些影响最小化，比如屏幕上有水时反应不够灵敏，或者当您把手机放在桌子上时它的响应较差等情况。仿真是一项非常重要的工具，它能帮助我们找出具体的影响因素，确定如何才能最有效地进行性能优化，因此帮助我们保证了产品能够在各种环境和条件下始终保持高效的响应。”

因为 COMSOL® 软件支持不限制内核数的多核计算，以及不限制计算机节点数的集群和云计算，赛普拉斯的工程师能够快速运行多个仿真，几乎不受所分析设计箱大小的限制。“我们能够减少必须进行原型测试的假设数量，还能在使用真实的几何和材料的同时，准确捕获活跃电极中的变化，从而能够精确模拟触摸屏。” Vavaroutsos 说道。

仅需通过单个设计箱，赛普拉斯的工程师就能测试不同保护玻璃的厚度、修改不同层的介电常数，或者修改图案参数。根据触摸屏的具体应用领域，工程师可能会在单个触摸屏中设计多个电极层，或改变各层的安放顺序。例如，设计箱中可能包括从 0.5 到 1.5 mm 厚的保护玻璃。为了能够精确地理解一项设计，赛普拉斯的研究团队需要模拟各种不同的参数，但是如果不经模拟，就只能保持未知。

» 用于定制设计的触摸仿真 App

为了拓展模型的可用性，赛普拉斯的工程师们使用 COMSOL Multiphysics 中的 App 开发器将模型转换为仿真 App。“为了能更有效地与客户支持团队交流，我们开始使用 App 开发器来开发简便的模型用户界面，” Vavaroutsos 说，“在使用仿真 App 之

“仿真保证了我们的产品能够在各种环境与条件下做出高效响应，它是一款非常棒的工具。”

—PETER VAVAROUTSOS, 赛普拉斯研发工程师

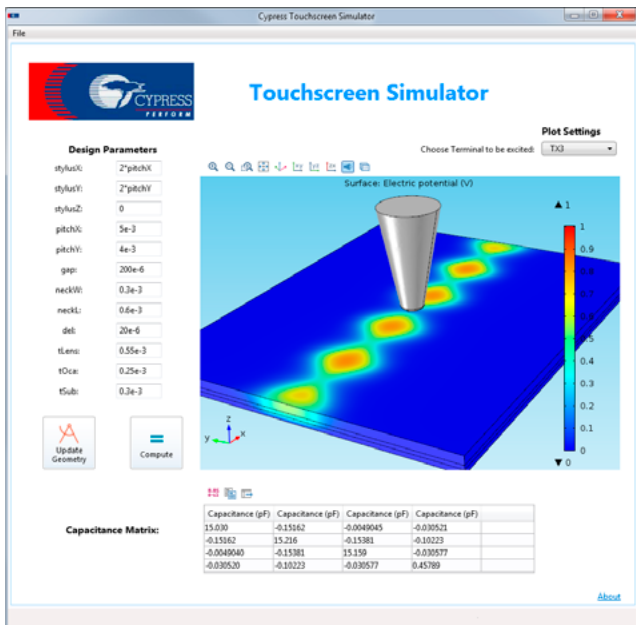


图 3: 利用 App 开发器创建的触摸屏 App, 通过连接至 COMSOL Server™ 的 Windows® 原生客户端运行。

前, 每当客户要求的设计不在设计箱内时, 我们就需要针对这些细微的参数调整重新运行仿真。很多时候, 虽然销售工程师几乎没有 COMSOL 的使用经验, 但是他们还是希望自己能够运行仿真。这时, 我们不仅要帮助他们检查仿真, 还会被他们占去软件的一个使用许可证。”

图 3 中的示例 App 显示了应包含在触摸屏 App 中的参数。正在触碰屏幕的手指和手写笔表示为一

个圆锥状结构, App 用户可以更改从手指位置到传感器不同层厚度等设计参数。App 随即会生成一份报告, 详细记录电容矩阵和整块电容传感器设计信息。App 还会显示传感器中的电场分布, 能够添加下拉列表, 方便选择对应于不同传感器所追踪激发的解决方案。

赛普拉斯公司还使用 COMSOL Server™ 许可证将他们的仿真 App 在全球同事中分享, 这样每个人都可以通过 Windows® 版

的 COMSOL Client 或网页浏览器访问仿真 App。

“我们发现, 支持团队能够访问多物理场仿真结果对我们的帮助很大。我们可以控制 App 用户能够访问的参数, 借以保证 App 可以提供精确的结果; 同时, 支持工程师还能在没有研发工程师参与的情况下独立尝试数千种不同的设计选项, 并且不会占去我们的 COMSOL Multiphysics 许可证席位。”

» 试水汽车触摸屏设计

除了消费产品中的触摸屏, 赛普拉斯还开发了用于汽车行业的触摸屏设计。在这些应用中, 工程师需要根据汽车的具体要求尝试不同的设计。

“在汽车团队中, 我们的设计更加以客户为导向, 因此通常需要针对具体产品或客户需求进行个案设计, ”来自赛普拉斯汽车团队的研发工程师 Nathan Thomas 说道, “设计箱的形状并不规则, 会更多地针对具体客户运行仿真。举个例子, 汽车公司会在多种应用中使用触摸屏, 比如中控系统, 或者车顶娱乐系

统, 后排座椅的娱乐系统所有这些都需要独立的模型。”

相比针对每个案例开发一个新模型的做法, 汽车团队现在会使用 App 来测试不在设计箱内的新型设计。有些客户希望了解参数的更改对最终性能的影响, 就可以通过 App 来满足这些特殊需求。“对于这类情况, 我们会使用 App 开发器来为现场工程师开发仿真 App, 这样, 他们将能直接运行仿真, 无需我们再为他们开发。虽然仿真 App 相对还是一项非常新的技术, 但我可以预见, 它会成为现场工程师使用最多的重要工具。”

» 加速定制化设计

不论是智能手机设计、汽车应用, 还是其他工业过程, 现在, 赛普拉斯的研发工程师们都会为其他支持工程师创建仿真 App, 这样即使他们不具备研发工程师那样的专业技能, 也可以对设计进行实验。仿真使赛普拉斯的工程师们能够比以往快得多的速度提交更多的定制化设计。🌀

COMSOL App 带来仿真行业的“民主化”

作者: ALEXANDRA FOLEY 和 VALERIO MARRA

每次新产品的发布、技术的革新,以及科学突破的背后,都离不开全体专业人士的努力,正是他们的愿景、专长和奉献精神才让这些产品最终成为可能。每个成功产品都汇聚了从设计工程师到现场技术人员、再到销售工程师和生产经理的知识与专长。

在研发领域,这些知识是一群高素质工程师工作的结晶,他们借助计算机辅助工程(CAE)进行各种测试、分析与创新。在CAE的帮助下,研发工程师开发出各种虚拟物理模型,从而能够深入理解产品在真实世界中的表现。

未来产品的升级、针对特殊用途的定制、对不同设计和材料的探索,以及其他各种优化,这些都需要利用研发团队开发的物理模型进行仿真。“鉴于这些仿真的复杂性,通常只有模型开发工程师才能安全地对模型进行修改,以及测试新设计。在现今的许多公司中,这个小型的团队支撑着更大团体的工作,因此,这也就造成了一个瓶颈。”COMSOL 产品管理副总裁 Bjorn Sjodin 说道。

如何才能使这些强大的计算工具可以被更广泛的用户所使用?如果更多用户能够直接访问多物理场仿

真,无疑可以极大地提升产能与进行创新,但这如何才能通过一个高效且可扩展的方式实现呢?

» 仿真 App 正成为主流

COMSOL Multiphysics® 软件和 App 开发器为研发工程师提供了一个快速高效的定制化方法来与其他人分享他们的仿真专长。在 App 开发器的帮助下,研发工程师可以轻松地为他们的 COMSOL® 模型开发出直观的界面,并能针对 App 的预期用途进行定制。生成的仿真 App 将保留原始模型的全部特征,但用户界面(UI)更为简单,App 用户只需修改界面中提供的特定输入项、材料、几何或参数等,然后重新运行计算就能了解新设计的预期表现。这类 App 可以在统一的 COMSOL Multiphysics 软件环境中开发。

仿真 App 可用于完成各种任务。例如,在展示产品性能时,各家公司能够使用仿真 App 来代替替数据表,此外,公司还可以制作授权 App 作为自己的产品。在公司内,销售或支持工程师也能够使用 App

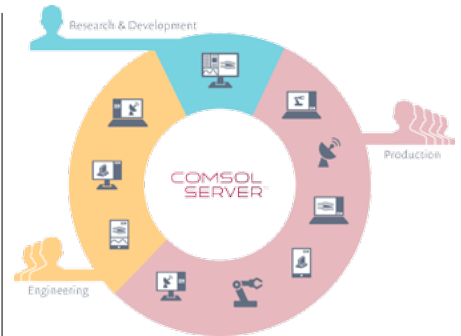


图 1: 研发团队利用 App 开发器创建开发的 App, 其他部门随后可以连接至 COMSOL Server™ 环境使用。

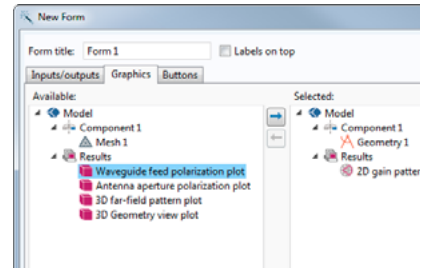


图 2: COMSOL 软件中提供的波纹圆形喇叭天线演示 App, 利用表单向导创建了新的表单。

来测试不同的材料与设计,从而快速分析产品的预期性能、耐用性,以及具体项目的成本。

简而言之,“仿真 App 在具有仿真专长的专业模型开发者与其他产品团队之间创建了一个全新的沟通渠道。”Bjorn Sjodin 介绍。

» 借助 App 开发器开发仿真 App

开发仿真 App 所需的工具被完全集成在 COMSOL Desktop® 环境中,包括模型开发器及 App 开发器。例如,考察 App 库中的一个演示 App: 波纹状圆形喇叭天线模

型。您只需要从模型开发器切换至 App 开发器模式，然后仅需几下点击就能开发出一个简便的 App，随后您还可以对它进行进一步定制与功能的增强。

首先，表单向导会提示模型中适用的元素列表，它们适合作为 App 的输入和输出、模拟操作以及图形等选项（见图 2）。

利用表单向导开发得到模板 App 后，可以通过两个工具进一步升级和定制：表单编辑器和方法编辑器。利用表单编辑器，能通过拖放操作向 App 增加输入框、按钮、图形窗口，以及结果表单（见图 3）。

增加这些表单后，还可以使用方法编辑器定制并增加更多功能。方法编辑器本质上是一个 Java® 编程环境，允许用户结合 COMSOL® 界面与 Java® 程序和库。

在波纹喇叭天线示例（见图 4）中，利用方法编辑器创建的特征包括：在频率和波长输入框中限定输入范围及恢复输入参数初始设定的功能，以及二维和三维结果的可视化。此外，App 运行结束后会生成一份仿真报告，并在计算完成后自动通过邮件发送给指定收件人。图 4 显示了最终版本的 App。

仿真 App 可以基于 App 用户的具体需求以及各类不同的项目进行完全定制，比如针对希望修改设计以适应客户需求的销售代表，或者希望能快速获得新项目可行性数据的设计工程师。利用 App 开发器和 COMSOL Multiphysics 开发的仿真 App，能够帮助产品开发、设计或生产领域的更多用户接触到仿真的力量。仿真行业的民主化进程正在快速实现！

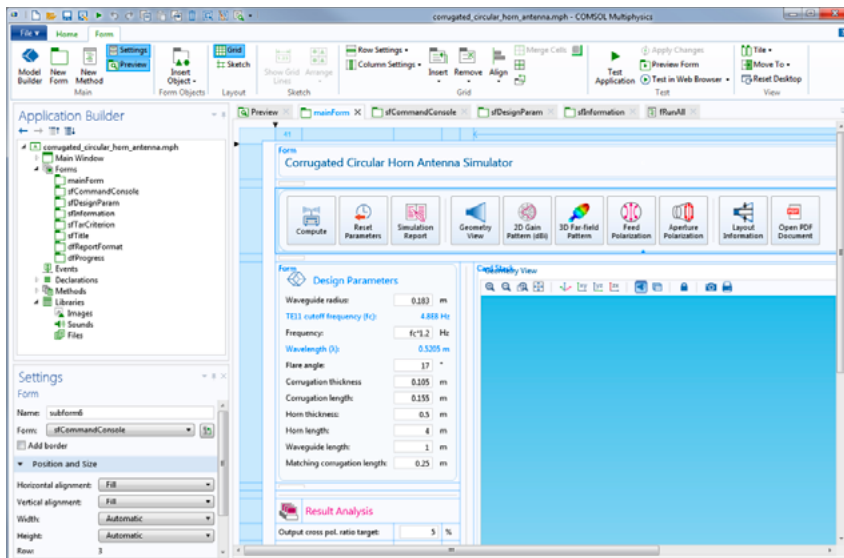


图 3: 完成后的波纹喇叭天线 App 主表单，包括表单、卡片堆、文本标签、输入框、单位、图片等。这些对象均可在表单编辑器的下拉菜单中访问。

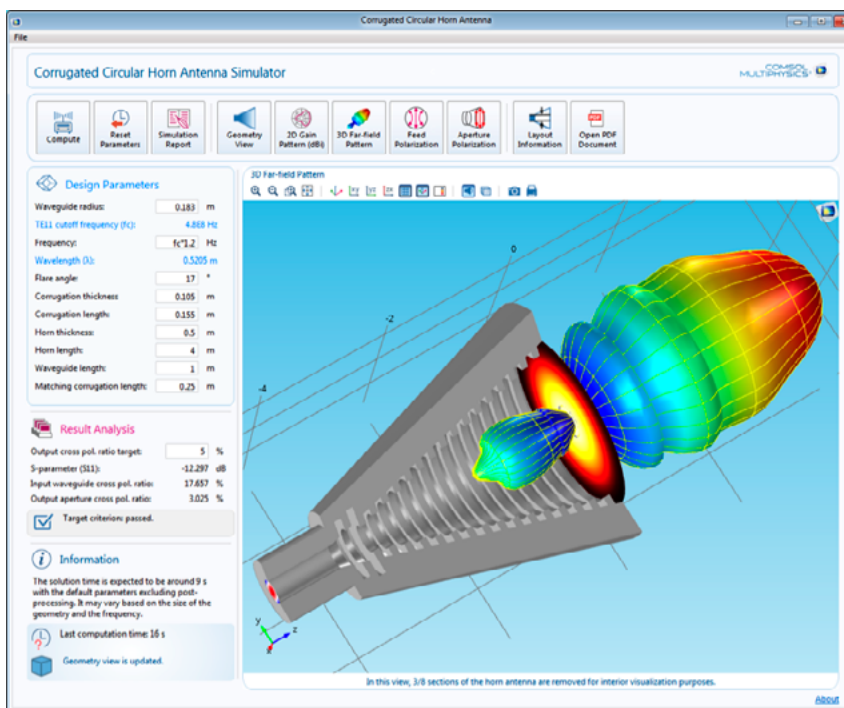


图 4: App 显示了波纹状圆形喇叭天线的远场辐射；可以修改几何参数和工作频率来提升天线性能。

“仿真 App 在具有仿真专长的专业模型开发者与其他产品团队之间创建了一个全新的沟通渠道。”

—BJORN SJODIN, COMSOL 公司产品管理副总裁

WiTricity 借助磁共振实现灵活的无线充电

WiTricity 的工程师正使用多物理场仿真进行无线能量传输技术的创新研发，希望新技术的充电效率和距离能超过现有方法。

作者: LEXI CARVER

您不妨想象一下，回家后，只需将手机、笔记本电脑和蓝牙（Bluetooth）耳机丢到厨房餐桌上，它们就能实现自动充电；或者您只需把电动汽车开到车库的充电垫上，第二天早上就能充满电；又或者医生突然告诉您，最近研发出了一种无需使用电源线或更换电池的新型医学植入物，能够完美替代您身体内正使用的那个旧型植入物。

无线能量传输正将这些场景和其他一些应用变为现实，它支持以无线方式对各类电气器件进行充电。位于马萨诸塞州沃特敦市的 WiTricity 公司专注于研发基于磁共振的无线充电技术，目前已推出迄今为止最方便消费者使用的电力无线传输技术。Marin Soljatic 教授带领一组研究人员在麻省理工学院（MIT）创建了 WiTricity 公司，研发的无线充电方法支持同时对多个设备进行充电、远距离充电以及能够穿透木材、塑料、花岗岩以及玻璃等物体进行充电。丰田、英特尔、梭拉特等公司已获授权在他们的产品中使用这项技术，例如混合-电动汽车、智能手机、可穿戴电子产品和心脏泵等。

» 磁共振延长了传输距离

在其他无线能量传输选项中，设备需要精确放置在非常靠近（通常需要直接放在）充电电源的充电板或充电底座上，单个电源线圈仅支持对单个器件进行充电。现在，WiTricity 的工程师正借助磁共振的力量来对这些限制进行重新思考。

他们的“高度共振无线能量传输”系统主要依赖于



图 1: 上: WiTricity 技术背后的概念, 包括线圈、控制电源输出和管理的电子设备、用于保证电源和采集设备之间正确电源输出的无线通讯。下: 此项技术支持通过不同的材料表面进行充电 (左); 可以通过谐振中继器延长无线充电距离 (右)。

交流电通过线圈时所产生的振荡时变磁场，其中，通过线圈的交流电被作为电源。将一个功率放大器连接到电源线圈上，通过控制功率大小和工作频率来驱动磁场水平。

采集设备作为接收器来采集磁场，其中包含另一个调谐到与电压相同频

率的线圈（见图 1）。接收器中的磁场将磁能转换回射频交流电，经调谐后，它可以作为一个新的受电子设备控制的本地电源。

WiTricity 技术与其他方法最大的差异在于磁共振的使用。当两个线圈都被调谐到相同的共振频率

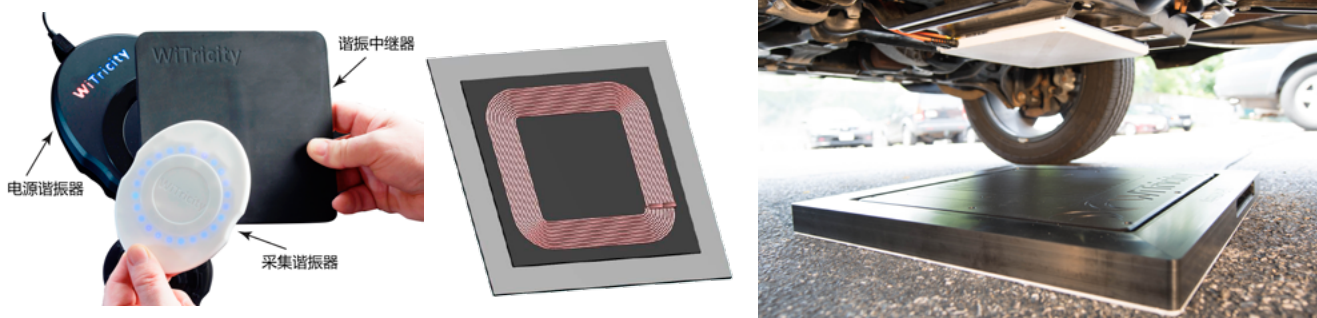


图 2: 左: 采集谐振器、谐振中继器和电源谐振器。中: WiTricity 设计用于消费电子应用的电源共振器。右: 停在充电板上正在进行无线充电的电动车。

时，接收线圈能以极低的损耗采集到最大的能量，电源和采集设备无需放在一起或完全对齐就能实现能量的传输。

“运动及放置的灵活性是一大优势。接收线圈无需与设备直接接触；例如，开车时，您可以直接将手机放到靠近收集设备的杯托上，不需要放在充电垫上，” WiTricity 公司联合创始人 Andre Kurs 解释道，“您可以同时为所有设备充电，包括对电源要求各异的不同电子设备。”

无线范围的扩展也非常容易：每个共振中继器中都包括另一套电路，线圈可以放置在电源和接收器之间，使能量可以“跳跃”到更远的距离（见图 2）。

即使电源和接收器之间存在阻碍，比如人体和混凝土墙，还是可以进行

高效的能量传输。

» 模拟无线能量传输中的电磁学

为了在设计中实现最高效率，Kurs 和他的团队分析了相同共振频率线圈中的多个变量，比如线圈匝数、直径以及需要的能量输入。从早期开发阶段开始，他们就依赖于计算机仿真来测试各个关键细节、验证设计以及优化系统。Kurs 使用 COMSOL Multiphysics® 软件模型，分析了不同线圈配置的电磁及传热性能，因此能够快速验证新设计。

不同的充电配置是将这一技术部署在更多设备上的一个障碍，举个例子：汽车与智能手机就需要使用不同的充电装置。

“我们涉及的应用范围非

常广，原型机试样和测试不仅耗时，而且花费很高，在竞争如此激烈的市场中，设计错误就会让你落后很多，这是我们无法承受的，” 他说道，“我们可以在 COMSOL 中快速低成本地验证设计，这使我们能够在开发真实设备之前先对我们的设计概念进行虚拟测试。”

他为每个应用创建了不同的仿真设定，包括一些电磁相关组件，例如线圈绕组、用于引导电磁场的异形铁氧体和金属表面、用于屏蔽敏感电子设备的平板，

以及可能扰乱磁场的大型物体，比如汽车底盘。

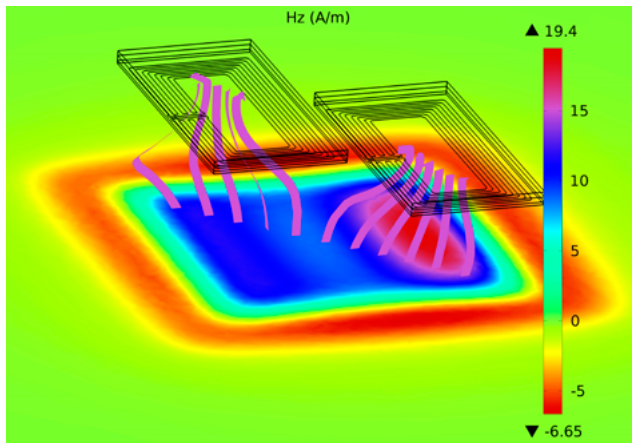
然后 Kurs 使用多物理场仿真进行分析，由于设备、线圈变形，以及扰动物体所吸收的电能对电磁和传热性能的影响（见图 3 上）。

他从结果中提取了线圈参数，用于指导电气设备的设计以及预测不同组件中的功率耗散和热载荷（见图 3 下）。团队相应调整了设计，根据尺寸、重量以及热约束确定了线圈放置及功率大小的可行范围。

“仿真帮我们解决了那些无法通过测试分

“我们可以在 COMSOL 中快速低成本地验证设计，这使我们能够在开发真实设备之前先行对概念进行虚拟测试。”

—ANDRE KURS, WITRICITY 公司联合创始人



Left: Surface loss (mW/cm²), Right: Core loss (mW/cm³),

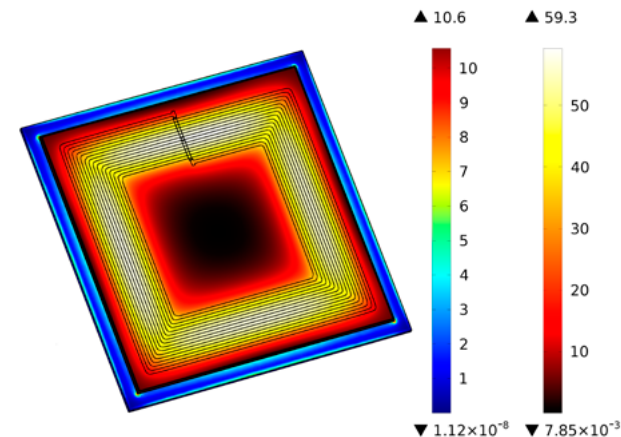


图 3: 用于消费电子应用的电源共振器仿真结果, 显示了磁场水平(上)和功率损耗(下)。

离出的影响, 比如功率耗散和传热,” Kurs 评论道, “COMSOL 的灵活性对我们的帮助特别大; 我们围绕它开发出了一系列的仿真 App, 这样不论我们的工程师是否会使用 COMSOL, 也不论他们是否理解整个模型, 都可以快速测试及验证设计。

» 在极近的地方, 保持安全距离

因为这类设备通常就在人体附近或与人体有接触, 电子设备制造商必须保证产品发射的电磁场符合相关安全规范。WiTricity 无线传输需要的电磁场通常较弱, 但对于每个新应用, 他们都必须首先检查

它的合规性。

为了保证磁场水平以及它所带来的体温变化符合相关规定, 团队又运行了几个 COMSOL 仿真来研究靠近设备的不同人体组织。他们的模型计算了基于充电系统工作频率的电场, 确认结果与 FCC 安全指导一致(见图 4)。

» 对快速增长的无线充电行业的再思考

WiTricity 基于磁共振的设计相对其他无线充电技术是一项重大进步, 他们通过易于消费者使用的产品实现了可靠的无线能量传输。这需要感谢他们在 COMSOL Multiphysics 中进行的仿真工作, WiTricity 团队能够在开发昂贵的原型机之前, 先行优化设计以实现更高的效率和更远的充电距离。

WiTricity 公司不仅是带来重大变革的无线能量传输技术的领跑者, 还是无线电力联盟 (A4WP) 的董事成员, 这是一个致力于开发“全球无线生态系统”及打造无线充电标准的组织。Intel 是联盟的另一名董事成员, 已获授权使用 WiTricity 的技术来开发一款新型的无线桌

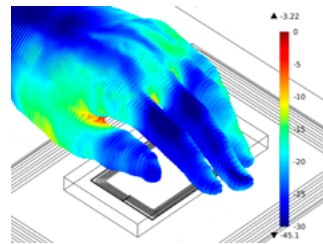


图 4: COMSOL 仿真显示了充电手机上方人手中的比吸收率 (SAR)。SAR 测量了吸收并转化为热的电磁能。结果单位根据 FCC 规定设为 dB (0 代表 FCC 规定的极限值)。

面系统。A4WP 是一个汇集了各行业顶尖公司的创新组织, 用全新的方式来思考无线能量: 他们正构想这样一种未来, 我们将能通过日常生活中常见的各种表面, 比如书桌、杯托、甚至厨房台面对我们极度依赖的各种电子设备充电。☺



Andre Kurs, WiTricity 公司联合创始人

Medtronic 借助多物理场仿真 推进消融治疗技术发展

这项新的消融技术将帮助医生更好地规划和实施消融治疗,也许能为病人带来更好的治疗效果。

作者: GARY DAGASTINE

消融治疗技术的方法早在几十年前就已经被发现,也就是利用高频的电磁(EM)能量破坏软组织肿瘤;然而直到近几年,这项医学疗法的底层技术才得到了发展。

一直以来,微创肿瘤治疗的基准技术都是通过施加电流来杀死病变组织,即对组织持续加热直到分解,这一过程称为热消融。在 500 kHz 频率下传递的能量在 EM 频谱的射频(RF)范围内,因此称作 RF 消融系统。

近年来,微波(MW)消融技术已经商用,并变得越来越受欢迎。在 MW 频率下,可以使用振荡 EM 场来进行热消融。

美敦力公司(Medtronic)是一家世界领先的医疗技术与服务公司,也是 RF 和微波消融技术的领先供应商。

利用 RF 和 MW 系统,使用一个或多个针状探针来施加消融能量。

美敦力最新推出的创新产品 Emprint™ 消融系统采用了 Thermosphere™ 技术。与其他技术或设备相比,这项技术能提供更易于预测更易复现的结果。这些优势来源于 Thermosphere™ 技术能够精确控制独立于周围组织环境的 EM 场。

努力提供更好的可预测性

研究表明,内科医生会把可预测性

看作评估消融疗效的最重要依据。可预测性水平越高,医生越容易规划出一个更简单、更有效并且耗时更短的治疗方案。

由于技术本质的原因,要保证 RF 消融过程能实现预期的效果是极具挑战的。再加上不同组织的电导率不同,相对其他组织,有些组织更难通过有效的 RF 加热进行治疗。此外,随着目标组织的温度接近 100 °C,组织内的水分开始蒸发,电导率会快速下降。这将使温度难以升高到能引起细胞分解的程度。

MW 消融技术尝试通过辐射到组织的 EM 场解决这些限制(图 2)。但在实际应用中,组织类型与消融时水分的蒸发都会造成 EM 场大小与形状的改变。

采用 Thermosphere™ 技术的 Emprint™ 消融系统实现了可预测这一承诺。通过对组织中 EM 场及温度的精确控制,医生将能轻松控制所传递的热能。这使临床医生能够精确预测消融区的边界和特征。

实时监控消融情况

“现在的难题是实时监控消融的表现。”美敦



图 1: 左图: 各种消融技术可能产生无法预测的肿瘤消融区形状。右图: 不论目标位置或肿瘤类型,美敦力采用 Thermosphere™ 技术的 Emprint™ 消融系统都能带来可预测的球形消融。

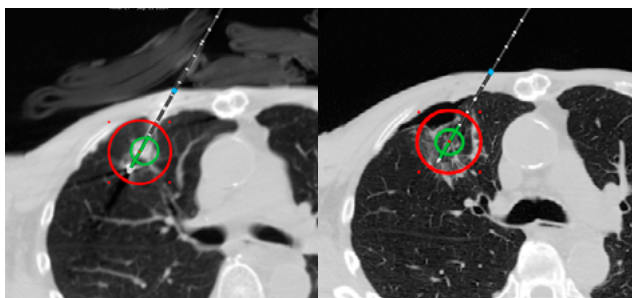


图2：左图显示了消融探针的放置。绿圈为目标处（病变位置），红圈代表预计实现的消融边缘。右图显示了该位置消融完成后的情况。

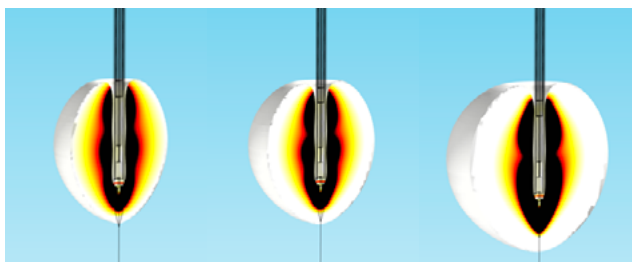


图3：来自 COMSOL 软件仿真的结果显示了利用热损伤计算确定的功率损耗密度或消融程度。天线与周围肿瘤最初的匹配良好，但随着治疗时间的继续，肿瘤温度会上升，匹配（例如天线方向）将发生改变（从左到右）。

力微创疗法集团（MITG）首席工程师 Casey Ladtkow 这么说道，“现在，内科医生在进行消融治疗时，并不能得到有关治疗有效性持续的实时反馈。如果他们能够从始至终实时了解进度，消融治疗的有效性将会得到提升。”

他带领着大约 40 名员工正进行介入肿瘤学的研究，团队的使命是交付一个

能够减轻疼痛、恢复健康以及延长生命的程序性解决方案。他和他的团队正在使用 COMSOL Multiphysics® 软件来开发新的消融探针，希望可以提升可预测性和有效性水平。

他们正着手研发的一个项目是优化探针设计，希望新的探针能提供更精确消融区，同时还能通过辐射计提供实时反馈。

辐射计将测量 EM 辐射，用于表征 EM 场的空间分布。Ladtkow 的团队将辐射计集成在美敦力的探针中，希望能为临床医生提供有关消融区的实时反馈。这样，临床医生在治疗过程中能够随时根据需要微调消融区，保证辐射在破坏目标组织的同时尽量减小对周围健康组织的影响。

团队在该项目中使用 COMSOL Multiphysics 和软件自带的 RF 模块来模拟探针，希望能更好地理解并优化他们的发射/辐射以及接收/监控属性。“MW 消融系统的性能和精度受到众多动态因素的影响，而这些因素会在多种物理场环境中同时发生。COMSOL® 软件使我们能够快速轻松地执行相关的复杂模拟，帮助我们理解这些耦合效应，以及改进

我们的设计。” Ladtkow 说道。

» 仿真实现了快速安全地设计、产品优化及原型机制作

在这样一个复杂的器件内，每个基于物理场的因素都可能会影响器件性能，因此通过开发一系列物理样机并对其进行评估的传统方法不再适用。

团队使用 COMSOL 模拟了能量辐射器，并测试了在同一器件中加入辐射传感器的设计；同时模拟了辐射探针硬件周围热与电磁的耦合效应，以便确定不同条件下的辐射表现（图 3）。

Ladtkow 使用生物热方程分析了活体组织中的传热，其中包括一个灌注项，用于分析组织凝结后血液流动的停止。这使他的团队理解了传递到肿瘤周围细胞中的热量，并预测温度分布，确保高效、可预测的能量传递。

他同时还进行了其他研究：分析反应速率的温度依赖性（理解消融区的大小）；进行辐射学测定，确定进入组织的能量和反射回辐射器的能量，以及液相到气相的相变动力学（图 5）。“后者对

“多物理场仿真使我们能够快速开发、评估及优化我们的设计，没有它的帮助，我们将无法实现这一切。”

— CASEY LADTKOW, 美敦力首席工程师

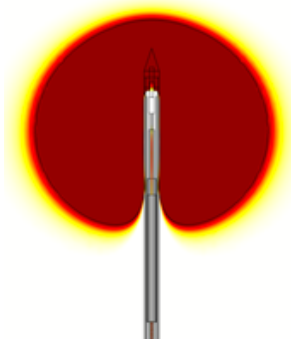


图 4: COMSOL 绘图显示了预测消融体积或组织破坏截面。此信息可用于修改生物热方程, 因此能用于修改组织中的灌注条件。红色区域代表不存在灌注的凝结组织; 白色区域代表正常灌注区域。通过在生物热方程中为灌注项建立一个真实的开/关条件, 模型将变得更加精确。

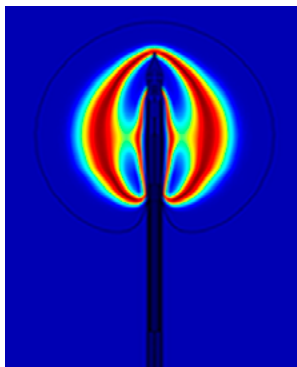


图 5: COMSOL 结果显示了探针周围组织中热容的变化, 主要由组织中水的相变决定。了解水沸腾区非常重要, 因为液体水与蒸发水中 MW 的辐射波长变化很大。

» 从不可能到可能

“如果没有 COMSOL 帮助我们运行这些分析, 单凭实验是无法找到一个集成式发射器及接收器的优化解决方案。COMSOL 帮助我们找到了特定架构, 并可能由此开发出一款集成器件, 这是我们无法通过其他方式实现的。” Ladtchow 继续解释道。

Ladtchow 的团队结合了 COMSOL® 软件与 MATLAB® 软件, 二者结合提供的强大功能使他能够快速轻松地优化包含高度复杂算法的复杂模型。Ladtchow 还希望能在他们的模拟工作流程中加入

于获取波的形状至关重要, 因为波长会变化的关系, 了解组织中的水分含量对了解辐射计的表现至关重要,” 他说道, “在 COMSOL 中执行这个模型非常简单。”

仿真显示, 延长天线的近端辐射区 (PSR) 和缩短远端辐射区 (DRS) 将得到一个有效的消融辐射器及接收器。这些研究 (图 6) 帮助他们设计出了内嵌辐射计的消融辐射器原型机, 同时还提供了集成探针性能的结果。

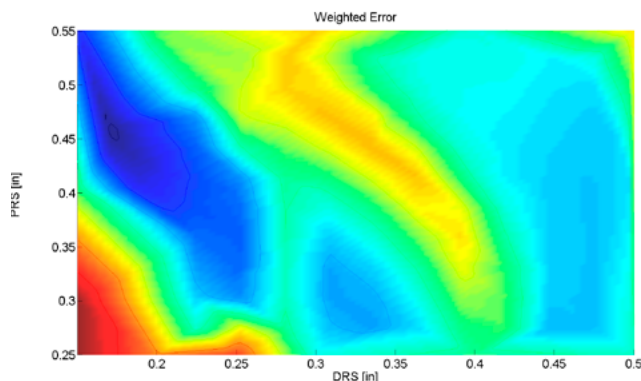


图 6: COMSOL 加权误差图。蓝色区域表示反射功率很低不能够传递消融能量, 也是接收器质量较好的区域。它们代表了器件的天线配置, 此时器件作为消融器与辐射计的表现良好。

COMSOL Multiphysics 的 App 开发器。这样, 团队将能够开发出仿真 App, 方便合作伙伴测试与验证不同设计, 同时还能更好地保护他们的专有模型。

“借助仿真, 我们现在已经实现了这种可

能: 临床医生不仅能精确地传递能量, 还可以实时的监控消融情况。” Ladtchow 说, “多物理场仿真使我们能够快速开发、评估及优化我们的设计, 没有它的帮助, 我们将无法实现这一切。”



从左到右: 美敦力团队成员包括 Morgan Hill、Casey Ladtchow 以及 Robert Behnke。

石墨烯为下一代表面等离子激元铺平道路

仿真工具将二维材料中的复杂物理场与表面等离子激元结合在一起，带来了光电设备的变革。

作者: DEXTER JOHNSON

2004年，人们首次成功合成了单原子层厚的石墨薄膜，并将其命名为石墨烯。十几年过去了，现在，石墨烯已被广泛用于光伏、下一代电池和电子器件等产品中。

石墨烯拥有许多优秀属性，比如电导率和导热系数。起初，人们只是将它用于电子器件，却忽略了它同样优秀的光电性能。很快人们就发现，石墨烯作为透明导体电极同样拥有惊人的潜力，可以代替常用的铟锡氧化物（ITO）。除了结构强度与灵活性，石墨烯还提供了能与ITO相媲美甚至更优秀的光电性能。它还可以用于其他各种应用，例如触摸屏和光伏中的透明导体（见图1）、用于探测病毒或蛋白质的芯片设备、改进型夜视仪、中红外成像应用以及太阳能电池。

» 石墨烯与表面等离子激元

除光电元件外，当人们将石

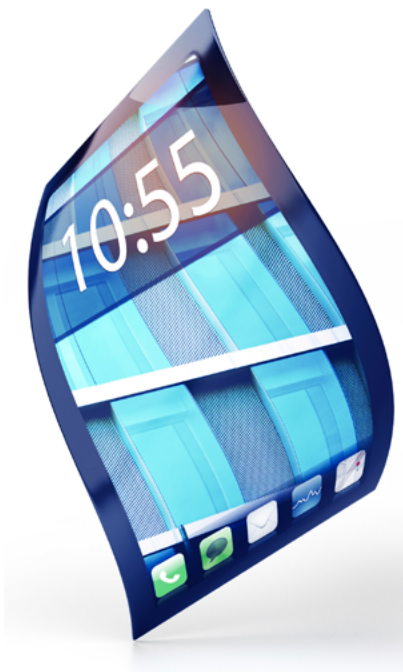


图1: 可弯曲、更轻薄的智能手机与笔记本电脑的屏幕，这仅是石墨烯诸多应用中的一个示例；它还能用于能源、计算、工程以及健康技术与设备等领域。

墨烯用于表面等离子激元这一光子学分支领域时，它更是大放光芒；近年来，

由于人们对更小尺度光学应用及其特性的不断探索，表面等离子激元行业发展迅猛。

传统上，光子一直用于处理微米尺度结构，由于光的衍射极限特性，将光挤进更小尺度的难度很高。表面等离子激元帮助解决了这一难题，甚至支持将光约束在纳米尺度内。

这种方法将入射光耦合到名为等离子激元的电子振荡，这也是表面等离子激元名称的由来。今天，表面等离子激元已经成为光子学中一个正积极发展的重要分支，主要用于处理等离子激元的有效激励、控制与使用。

» 石墨烯实现了表面等离子激元在实际设备中的应用

在普渡大学（Purdue University）的Birck纳米技术中心的电气和计算机工程学院，Alexander V. Kildishev副教授带领下的计算纳米光子学研究工作一直处于领先水平，他们在研究中结合了石墨烯与表面等离子激元，使其更接近实际光电应用。

Kildishev和他的同事们在石墨烯研究中遇到了一个基本问题：现在很难生产高质量的大面积石墨烯薄膜。在石墨烯的生产工艺改进之前，Kildishev和他的团队只能借助仿真工具来设计和优化石墨烯器件。

利用仿真和实验测试，Kildishev和他的同事们验证了纳米天线阵列中等离子体共振的可调谐石墨烯的辅助阻尼，这对于设计中红外波段可调谐光子元件非常重要

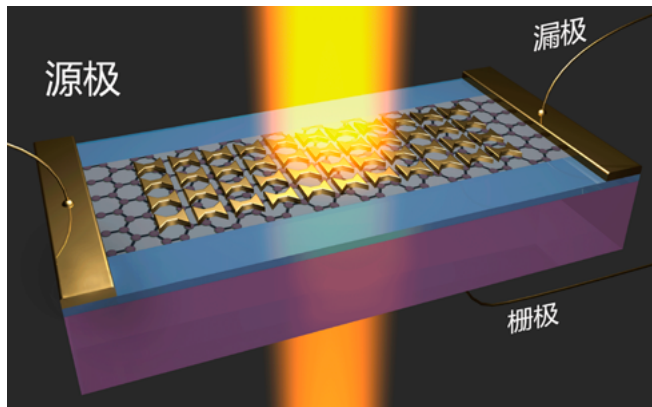


图 2: 在单层石墨烯板上设计的法诺共振表面等离激元天线, 利用 COMSOL 软件及波动光学模块进行优化, 希望在 $2\mu\text{m}$ 的波长实现共振。实验使用离子凝胶顶部电解质门控成功验证了设计的可调谐性²。

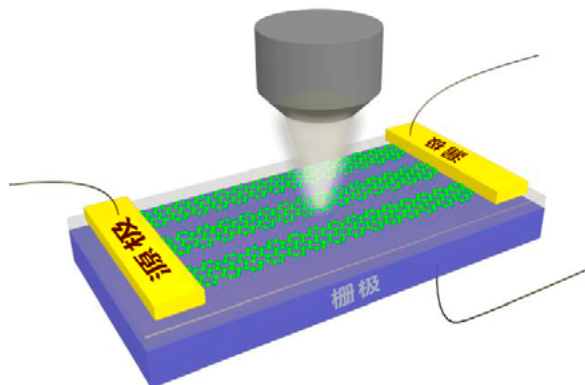


图 3: 用于研究石墨烯纳米带 (GNRs) 中等离子共振实验装置的 3D 效果图, 在 COMSOL Multiphysics 软件中使用表面电流方法模拟。GNRs 晶格取向为非等比例绘图, 仅作参考展示目的。

要。许多分子的基本振动共振会驻留在中红外波段, 因此, 对于传感和成像领域的应用而言, 能开发出可以在此波段工作的可调谐表面等离激元器件至关重要。

另一方面, 波长更短的红外 (IR) 波段对电信和光学处理也非常重要, 比如电信波段。普渡大学的研究团队已经证实, 在近红外波长, 可以对石墨烯-金属表面等离激元复合结构中的法诺共振进行有效地动态控制。法诺共振常见于经特定耦合的共振光学系统的传输中, 研究人员正将法诺共振的属性应用于滤光器、传感和调节器 (见图 2)。

Kildishev 认为, 在设计下一代表面等离激元和复合纳米光子芯片器件中的可调谐单元时, 比如设计传感器和光电探测器, COMSOL Multiphysics® 软件模型的预测功能是其中的重要环节。在

多色夜视和热成像中, 将最终能够使用光电探测器来感应红外电磁辐射。另一项可能的应用是生物传感, 表面等离激元单元的共振线被调谐到和病毒或蛋白质的光谱响应相匹配的谐振频率。

在普渡大学研究人员的研究中, 他们将石墨烯的特有属性与表面等离激元纳米天线相结合, 用于调制天线的光学属性。就像电路中的晶体管一样, 光路中的可调谐共振单元对光电元件也非常重要。

“结合纳米图案石墨烯与电子门控 (见图 3), 我们能够模拟空间中带有非平行空间解析度的光通量。” Kildishev 之前的博士生 Naresh Emani 博士介绍说, 后者现就职于新加坡 DSI 研究院, “石墨烯表面等离激元单元中的降维与半金属行为, 为我们提供了许多重要的属性, 其中最关键

的一项便是电可调谐性。这个关键功能在常规金属表面等离激元中是无法实现的。”

基于贵金属的表面等离激元器件往往不具备这种对电可调谐性的控制水平。贵金属导带中包含大量的电子, 因此不能方便地调制金属的电导率。但石墨烯是一种可调谐半金属, 在原始状态下, 导带中不包含任何电子。因此, 可以对它的电子浓度进行化学调制, 电调制, 甚至光学调制, 进而调制它的电导率。

» 仿真与模拟所扮演的角色

对于研究人员而言, 数值建模是一项非常重要的工具, 这使他们能够免受纳米制造的昂贵成本及其他各种限制的影响, 能够方便地对设计进行优化。

“与实验工作相比, 数值建模的成本很低, 帮助我们减少了验证设计输出所需的原型机数量, 为我们提供

了不错的预测能力，还可以针对需要的功能进行优化。” Kildishev 解释道。

在这样一个石墨烯材料质量差别很大的领域，要想更好地理解所有设计变量的影响，紧密关联数值结果与实验是关键。

“大多数情况下，通过拟合模型参数与实验结果，我们可以得到给定过程的实际物理场。” Kildishev 说道，“拥有这样一个经过验证的数学模型，我们能更好地理解与解释。当你借助数学模型理解这些现象之后，就能完整了解那些可用于其他新想法的整套机制。”

当然，数学建模也有自己的缺点。“不幸的是，很多问题并不具备解析解，因此我们必须采用其他方案。”他补充道。根据 Kildishev 团队高性能计算专家 Ludmila Prokopeva 博士的说法，数值技巧就是清除这些障碍的强大工具。经过合理设计的仿真工具可以提供较好的稳定性、精度以及速度。通常需要非常高性能的计算机，特别是对需要全三维（3D）仿真的纳米结构器件而言。

“计算纳米光子学的多物理场和多尺度本质决定了我们必须使用强大的仿真工具。” Kildishev 说道。

没有仿真工具能适合所有的场景。“我们自己有一整套的专有软件和商用软件，但我们始终都在寻找其他能加入那些很有意思的新物理场的方法。” Kildishev 介绍，“十多年来，我们一直很

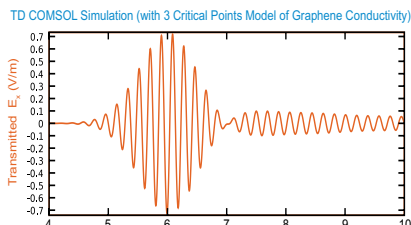


图 4: 由石墨烯纳米带阵列发射的高斯脉冲瞬态电场。

依赖 COMSOL Multiphysics 软件，它的主要优势在于，我们能在它独有的方程驱动型框架内进行灵活操作，这非常特别。”

他补充说：“COMSOL 允许用户耦合多个物理场接口，从而能够分享相同的网格，甚至支持使用不同的网格。我们也可以将求解器链接至复杂的材料函数：例如，我的团队已经针对石墨烯实现了多个复杂 MATLAB® 介电模型，COMSOL® 软件可以将这些模型无缝集成进去。对于简单的显式输入，如果使用简单的计算或查找表，将无法处理其中的一些介电函数。我们还能引入非线性效应，耦合至一个传热分析，增加量子发射器等，而且可以一直加下去。”

“COMSOL 的另一大优势在于软件本身支持利用表面电导率（例如，表面电流）模拟二维（2D）材料。” Prokopeva 注意到，“因为原子厚度的关系，石墨烯的表现类似于二维材料，但许多研究人员因为软件本身不支持二维材料，会加入一个很薄的人为设定的厚度，将仿真转换成三维模型。三维方法会带来一些非物理变化，增加优化过程的不确定性，同时还会显著增加数值计算的复杂度。”

在制造技术逐渐成熟的过程中，

普渡大学的团队使用一个理论模型来实现石墨烯的最优电导率，并在 COMSOL 中模拟了器件的响应，以便从数值角度对系统属性进行分析（见图 2 和图 4）。

“很幸运，在普渡大学的 Birck 纳米技术中心，我们能与相邻实验团队的 Yong Chen 教授、Alexandra Boltasheva 教授、Vlad Shalaev 教授、Ashraf Alam 教授、David Janes 教授和 Gary Chen 教授合作。与 C-PHOM NSF MRSEC 中心 Ted Norris 和 Vinod Menon 团队的合作也给了我们很大的帮助。实验研究聚焦于新型石墨烯应用的各种方面，例如红外传感器、混合光电电极，以及其他二维材料，这为我们验证新建模型方法奠定了良好的基础。他们向我们提供了有关实际中石墨烯基纳米结构制造及其光学特性的重要反馈。”

» 对量子光学、更好的夜视镜及柔性触摸屏的未来展望

普渡大学团队还在继续他们的仿真工作，希望能理解和预测石墨烯的性能，并最终将它用于太阳光电、光调制器等器件，他们甚至希望有一天能把它用在柔性触摸屏上。他们正在尝试制作石墨烯纳米带，希望获得一个初级光调制设备^{3,4}。

“目前，能够在中红外波长实现这一功能的器件往往非常笨重，或者不可调谐。我们预想了一款原型机器件，它能够动态更改入射光脉冲或光束的频谱。这将为夜

COMSOL 的另一大优势是能够使用表面电流项模拟二维材料。”

— LUDMILA PROKOPEVA, BIRCK 纳米科技中心高性能计算专员

视仪和中红外成像应用提供更高的灵敏度。”

他们还有更长远的宏大目标，希望探索石墨烯在量子光学领域的表面等离激元属性。Kildishev 和他的同事们相信量子光学领域将是光学的下一个发展前沿，但目前在中红外波长范围对它的研究相对较少。

“如果我们能成功解决石墨烯研究中的一些难题，它的表现最终可能超越半导体量子阱。如果能够实现，这将显著缩小许多器件的尺寸。”他们正继续探索这一充满了许多未知的前沿领域，朝着包含无尽可能的未来大步前进。◎



Alexander V. Kildishev, 普渡大学 Birck 纳米科技中心副教授。

参考文献

- 1 N. K. Emani et al., Nano Lett. 12, 5202–5206 (2012).
- 2 N. K. Emani et al., Nano Lett. 14, 78–82 (2014).
- 3 D. Wang et al., “Plasmon Resonance in Single- and Double-layer CVD Graphene Nanoribbons,” in CLEO: 2015, p. FTu1E.3.
- 4 L. Prokopeva and A. V. Kildishev, “Time Domain Modeling of Tunable Graphene-Based Pulse-Shaping Device (invited),” in ACES 2014.

石墨烯模拟

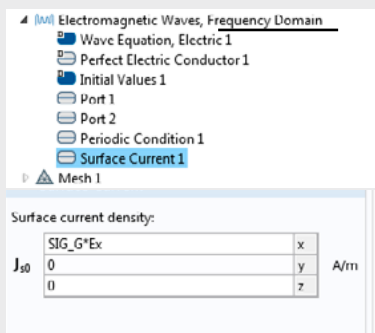
作者: ANDREW STRIKWERDA

模拟石墨烯的最佳方法是什么？或者更具体地说，应该将石墨烯作为二维层还是极薄的三维材料进行模拟？大多数研究人员选择了第二种方法，因为他们使用的数值软件仅支持三维材料。但在 COMSOL Multiphysics® 的帮助下，您可以任意选择这两种方法。正如文章中提到的，Kildishev 教授和他的同事们发现，将石墨烯作为二维材料进行模拟的结果与实验结果更一致。让我们仔细看一下如何在 COMSOL® 软件中进行操作。

根据欧姆定律，在频域，电流密度只是电导率和电场的乘积：

$$J = \sigma E$$

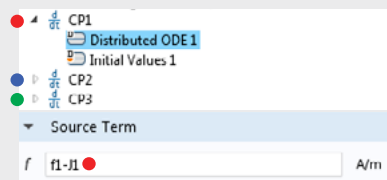
在 COMSOL Multiphysics 中，这可以通过表面电流边界条件在二维中实现，根据欧姆定律，感应电流表示为石墨烯电导率（例如，利用随机相位近似计算）与切向电场的乘积。



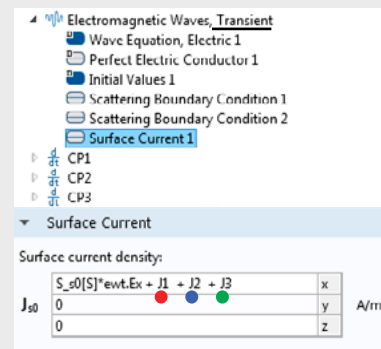
在时域仿真中，所需表面电流密度的计算难度会高一些，因为欧姆定律现在是电场与电导率的卷积：

$$J(t) = \int \sigma(t-\tau)E(\tau)d\tau$$

为了在 COMSOL 中实现这一点（见图 4），Kildishev 教授的团队使用帕德近似来表征石墨烯中依赖于频率的光导率。随后，他们对帕德极数中的这些项应用傅里叶变换，从而得到能够在 COMSOL 中求解的时域二阶偏微分方程。



这些方程的解代表了对瞬态表面电流的贡献，能够链接到表面电流边界条件。



如果您希望了解更多有关如何模拟石墨烯的内容，欢迎前往 comsol.com/webinars 页面观看由 Alexander Kildishev 主持的网络研讨会，您还可以在 comsol.com/community/exchange/361 页面下载他的 COMSOL 模型。

打破常规, 实现更快的信号与模拟速度

结合了空间映射算法与电磁仿真的创新优化方法可以提高封装互联的信号速度与完整性, 更快速的仿真缩短了高速互联技术的开发时间。

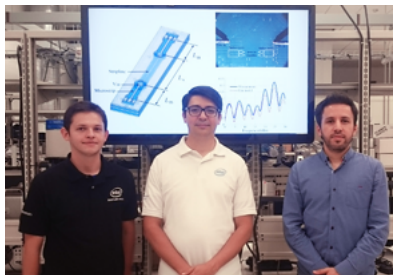
作者: JENNIFER SEGUI

英特尔 (Intel) 是电子和计算机硬件的行业领导者, 因此, 我们很容易认为英特尔的研究人员和工程师们会借助强大的计算集群和服务器来对设计进行高效的仿真和优化。虽然这一看法没错, 但这只是冰山一角。

在英特尔最新推出的电子封装高速互联的背后, 离不开多物理场仿真软件以及由英特尔瓜达拉哈拉设计中心 (Guadalajara Design Center) 开发的一种非常规设计优化方法的支持。

以印刷电路板 (PCB) 为例, 这是一种几乎能在所有电子产品中见到的主要电子封装方案, 从掌上电脑、手机、到最先进的卫星通信系统, 等等。PCB 中包含很多集成的高速互联, 实现了表面元件间的信号传递。为便于说明, 图 1 中展示了一个 PCB 研发原型机, 通过探针在封装互联的两端与表面走线接触实现互联。

制造更小型电子元件时, 会根据需要将封装互联的大小与空间按比



来自英特尔瓜达拉哈拉设计中心的工程师们, 从左到右分别是 Juan C. Cervantes-Gonzalez、Carlos A. Lopez 和 Isaac G. Farias-Camacho。

例缩放, 此时, 为了改进信号速度与完整性, 所需进行的计算设计优化就将耗费更多时间。

在更高的频率或信号速度下的互联运行时, 将消耗更多的能量。为了最小化能耗及防止信号丢失, 需要针对具体应用重新设计封装互联的几何与材料, 鉴于 PCB 的广泛使用范围, 这一点尤其重要。

“使用仿真优化封装互联的设计非常重要, 这就需要一个精确模型来

捕捉复杂三维结构中出现的不可忽略的耦合现象。”英特尔公司的 Juan C. Cervantes-González 工程师解释道, “为了加快封装互联的电磁仿真, 我们开发并验证了一个空间映射优化算法。将这一优化方法用于仿真后, 我们可以进一步缩短最新高速互联技术的设计周期与上市时间。”

» 模拟高速封装互联

为了模拟在更高频率工作的封装互联中的信号传播, 需要进行全波电磁仿真。仿真在没有进行任何简化假设的前提下求解了麦克斯韦方程组, 精确分析了复杂三维结构中不可忽视的电磁耦合与阻抗失配现象, 以及影响信号完整性的串扰和回波等主要因素。

使用 COMSOL Multiphysics® 软件, 英特尔的工程师们开发出了一个内嵌在 PCB 结构中的单端互联线模型。图 2 (左) 侧显示了模型的几何截面, 突出了他们在工作中优化的相关设计参数。

单端互联因具有较高的信号速度及在电子封装中占用较小空间而知名, 因此能够用于密集布局的设计。信号可以沿金属微带

“当利用这一优化方法进行仿真时, 我们可以进一步缩短最新高速互联技术的设计周期与上市时间。”

— JUAN C. CERVANTES-GONZALEZ, 英特尔工程师

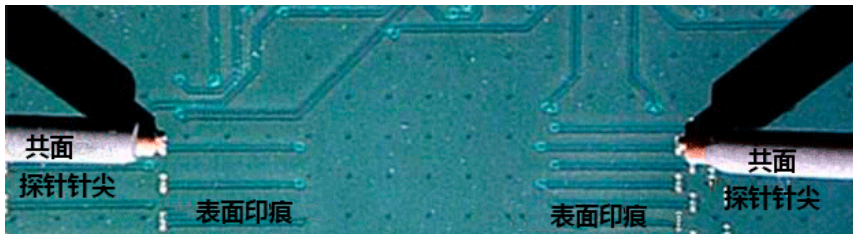


图 1: 以封装互联为特色的英特尔 PCB 研究原型机。

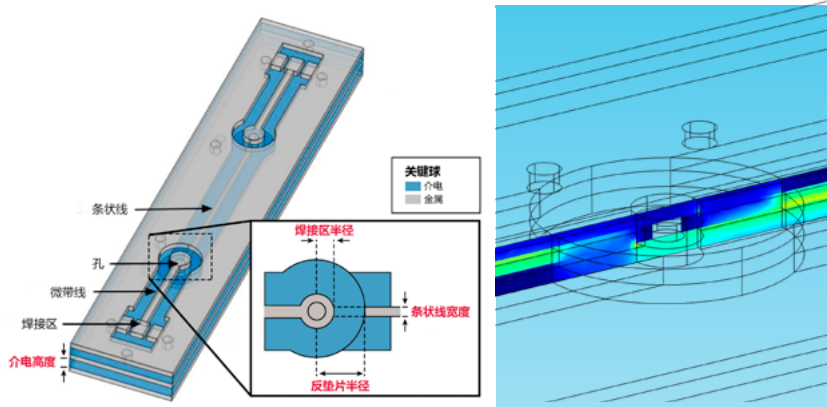


图 2: 左: 在 COMSOL Multiphysics 软件中设定的单端互联模型几何。以红色突出显示了仿真优化后的参数。右: 模拟封装互联中穿过孔的电场分布。

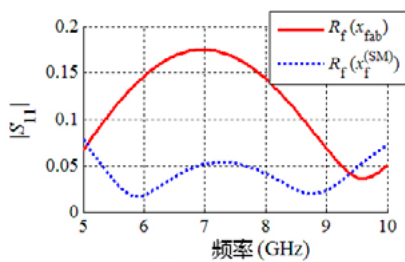


图 3: 求解细化模型获取的反射信号 ($|S_{11}|$) 的幅值。与空间映射优化解 (蓝色) 相比, 在构造互联原型机设计参数下, 观察到了明显的反射 (红色曲线)。

线和带线通过互联实现横向传输, 它们通过介电材料平面分隔开。在典型的 PCB 中, 信号会沿过孔垂直传输,

通常会穿过 10 多个介电和金属层, 因此它们是造成阻抗失配的主要原因。

在 COMSOL® 软件中, 使用全波电磁仿真优化构建原型机中的几何参数, 从而最小化阻抗失配以及所造成的信号反射或回波损耗。图 2 右侧显示了单端互联中电磁场分布的仿真结果。

» 优化互联以降低回波损耗

为了优化高速封装互联的设计及最小化不同频率下反射信号的幅值, 他们在高性能服务器 (双 Intel® Xeon® X5670 CPU、2.93 GHz 及 160

GBRAM) 上运行了仿真, 并应用了基于 Broyden 输入的空间映射优化算法来加速仿真。

电磁仿真的空间映射方法需要在 COMSOL 中求解两个独立的互联模型。第一个是“粗化”模型, 它是图 2 所示模型几何的二维简化版, 其中忽略了电磁损耗, 并使用十分粗的网格进行离散, 旨在提供一个快速解。第二个是“细化”模型, 模型几何与第一个相同, 但表征了图 2 中的整个三维几何, 利用更加细化的网格求解, 以牺牲计算速度为代价来获取更高的精度。

首先, 利用传统优化方法确定了最优二维模型设计中的信号响应, 这是减少整体计算时间的第一步, 也是极其重要的一步。在 MATLAB® 软件中所执行的空间映射算法旨在找出三维模型的设计参数, 使其中产生的信号响应能接近最优二维模型的响应。通过这一方法, 仅执行 4 次迭代就完成了互联设计参数的优化。图 3 中的结果通过求解全三维模型获得, 可以看出与原始构造互联原型机相比, 优化设计中的反射信号显著下降。

“通过结合全波电磁仿真与空间映射优化, 我们做出了一个更好的互联设计, 它的回波损耗更低, 相比测试不同原型机的做法, 仿真耗费的时间更短。” Cervantes 说。

虽然他们只是利用初始模型求解了电磁波的传播以验证空间映射优化方法, 但还可以在多物理场强耦合模型中加入传热和固体力学分析, 从而实现创新、甚至非常规的设计能力。☺

延长大功率电气系统的使用寿命

结合实验测试与多物理场仿真，ABB 半导体的研究人员重新设计了用于大功率电气组件的绝缘栅双极型晶体管（IGBT）模块以延长该设备的使用寿命。

作者：DEXTER JOHNSON

传输经过火车机车的高电流及电压浪涌会给其中的大功率电气系统造成巨大的应力冲击，这些电气系统必须要能够承受这些冲击的考验。绝缘栅双极型晶体管（IGBT）是这些电气系统的核心，它是一种支持快速切换的高效电子开关，主要负责向机车系统传输能量。当火车从一个站开向下一个站时，IGBT 电源模块将经历反复的电、热以及机械疲劳，这会降低模块的性能，最终使其失效。

“典型情况下，设计负责驱动机车的牵引电机时，目标是要保证设备能承受 30 年极端条件下的考验。”位于瑞士伦茨堡的 ABB 半导体的首席研发工程师 Samuel Hartmann 解释说。如果 IGBT 模块在牵引电机的使用期内发生磨损，就必须更换。Hartmann 和他的同事们希望能满足牵引电机较长使用寿命的要求，提升系统的可靠性，他们正借助计算机仿真来更好地理解如何提升 IGBT 模块的电力循环性能。

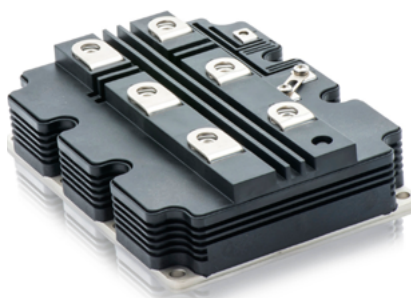


图 1: ABB HiPak 电源模块，额定阻断电压 6500 V，额定电流 750 A。

“我们的团队正在寻找能够提升 ABB HiPak 电源模块性能的方法。”Hartmann 说（见图 1），“这些模块由多个并联的 IGBT 芯片构成，当模块处于‘开’状态时，会传输较大的电流，当处于‘关’状态时，将承受非常高的电压。”这些模块也可以应用于诸如工业传动和可再生能源等领域。

“当用于机车时，IGBT 电源模块会暴露在高温环境中，因此，不同零件之间的连结点会由于热机械应力的影响而变弱。”Hartmann 介绍说，

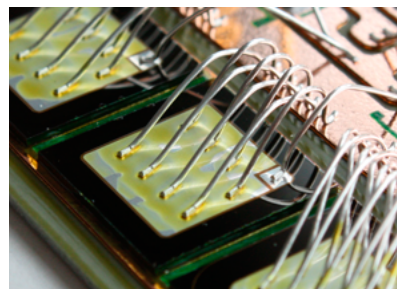
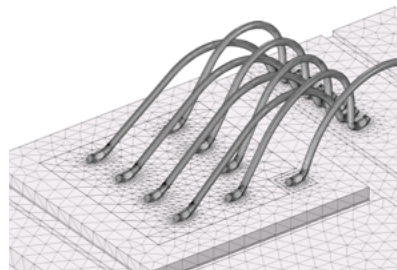


图 2: 上: 参考焊线布线的 COMSOL® 软件模型及网格剖分。下: 参考发射器照片。

“在最薄弱的结点失效后，导线会从发射器上脱落，造成电接触断开，半导体元件及其封装间剩余的互联导线将传输更高的电流。最终，剩余结点中热机械应力的增加，会造成连锁故障。如果我们可以强化最弱的结点，

就可以延长器件的整体使用寿命。”通过延长 HiPak 电源模块的使用寿命，ABB 可以减少用于这些电机中所需模块的数量，以达到 30 年的使用寿命，并且节省资源和减少维修时间。

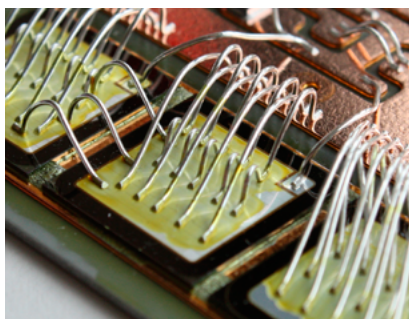
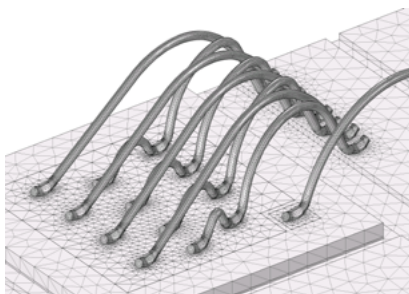


图 3: 上: 针脚接合焊线布线模型及网格剖分。下: 使用针脚接合焊线布线的部分 HiPak 电源模块图片。

» 仿真使实验结果变得更清晰

ABB 的 HiPak 电源模块通常包括基板、电路板、IGBT 和二极管芯片、焊线和导体引线。为延长电源模块的使用寿命，Hartmann 探索了几种用于增强电路板与发射器键合点间导线连接耐用性的方式。

“我们研究了两种方式来改进设计。” Hartmann 介绍说，“在第一种情况下，我们查看了焊线和发射器间的不同连接方式，希望了解针脚接合技术能否预防零件性能的下降，以及能否延长设备寿命。”图 2 和图 3 显示了分别采用常见的参考焊线布线与针脚接合布线的元件照片和剖分网格后的模型。

“对于第二种情况，我们使用新的连接技术在发射器的硅晶片和铝制焊线之间焊入了一个应力缓冲器。” Hartmann 继续说，“应力缓冲器的热膨胀系数（CTE）在硅和铝之间，因此能降低热载荷和机械载荷。”

“我们借助实验方法评估了这些焊线连接的几种变形，并使用多物理场仿真解读了某种设计为什么更优于其他设计。”

—SAMUEL HARTMANN, 首席研发工程师, ABB 半导体

借助多物理场仿真，ABB 团队更好地理解了 IGBT 芯片性能下降的潜在机理，比如不同设计反复暴露于电力循环测试时的电-热和热-机械响应。“电力循环能力越高，设计的耐用性与可靠性越好。” Hartmann 解释说。

“我们借助实验方法评估了这些焊线连接的几种变形，并使用多物理场仿真解读了某种设计为什么更优于其他设计。” Hartmann 相信，ABB 对 COMSOL Multiphysics® 仿真软件的使用是他们设计成功的关键。

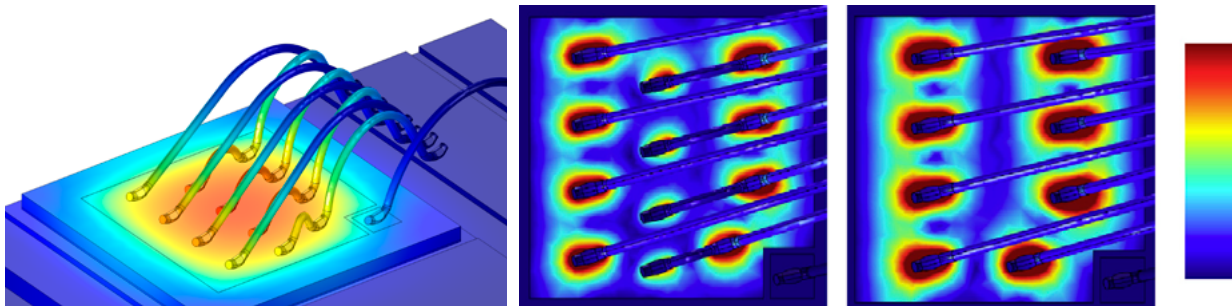


图 4: 左: COMSOL 结果显示了针脚接合布线的温度分布图。右: 针脚接合布线和参考布线中的电流密度，显示出新设计中焊脚周围的电流降低了。

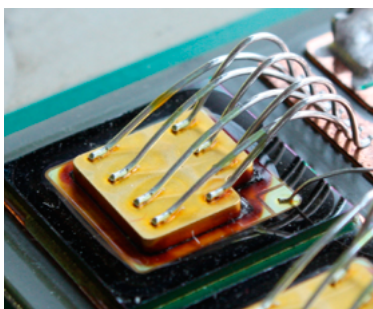
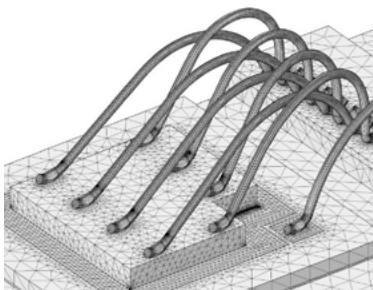


图 5：上：发射器触点加固模型及网格剖分。下：发射器触点加固元件的图片。

» 用仿真探索 IGBT 模块的不同设计

在首次实验中，ABB 团队测试了两种不同的焊接技术：参考焊线布线（见图 2）和针脚接合布线，此时焊线会被多次焊接到芯片表面（见图 3）。

借助仿真和实试，Hartmann 对比了三种不同的针脚接合布线和参考布线。“不出所料，我们发现当单个芯片上有多条焊线时，焊线、尤其是焊脚内的电流密度降低了。”Hartmann 介绍说，“在仿真的帮助下，我们非常深入地了解到：针脚接合布线并没有降低温度梯度或机械应力，性能的改进是由于电流密度降低，而这又是因为芯

片焊脚周围金属镀层中的电流密度降低了。”

额外的焊接为电流提供了更多通过焊线的路径，因此减少了每条焊线耗散的电流（见图 4）。

“新的焊接设计为我们提供了全新的 IGBT 设计，它的电力循环性能是参考布线的 4 倍。我们的一些 HiPak 电源模块已经应用了这种新设计。”

在第二次实验中，Hartmann 和他的同事们对比了直接焊在芯片上的焊线与焊在芯片上所附的金属板上的焊线，金属板用来加固发射器（见图 5）。

在仿真的帮助下，Hartmann 发现加固发射器接触后，焊接接触面中焊线承受的电流密度、温度变化和机械应力都远低于参考模块

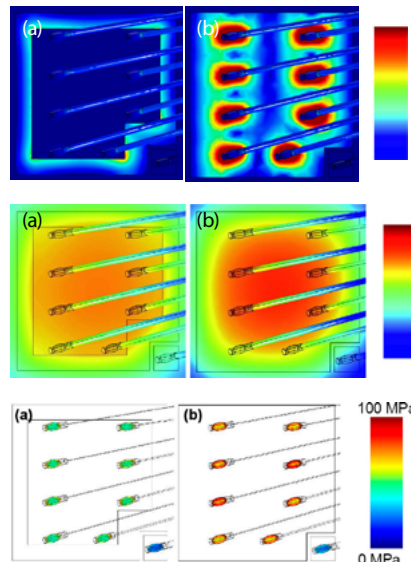


图 6：ABB 开发的 COMSOL 模型的电流密度、温度变化及 von Mises 应力模拟结果，从下到上分别是在 (a) 加固型和 (b) 参考发射器接触布线中前端金属镀层和焊线的焊线-芯片接触面处的情况。



Emre Oezkol (左) 和 Samuel Hartmann (右) 的手中分别拿着电路板和 HiPak 电源模块。

“在加固型 IGBT 模块中，我们发现焊线的循环性能是标准模块的十倍。我们借助仿真验证了机械应力的降低，这也是耐用性大幅提升的原因。”

— SAMUEL HARTMANN

(见图 6)。这大幅降低了焊线从发射体上脱落的概率。

“在加固型 IGBT 模块中，我们发现焊线的循环性能是标准模块的十倍。” Hartmann 说道，“我们借助仿真验证了机械应力的降低，这也是耐用性大幅提升的原因。”

» 延长 IGBT 电源模块的使用寿命

丝焊仿真的结果及新型的焊接技术延长了 ABB 电源模块的使用寿命，针脚结合布线的使用寿命延长了 4 倍，发射器接触加固布线的使用寿命延长 10 倍。使用寿命的延长转化为每个设备更大的功率输出，进而帮助 ABB 电源模块的用户降低了成本。

“由于我们的新模块提供了改进型焊线布线，如果电力循环能力得到提升，” Hartmann 解释说，“只需要较少的电源模块就能做出一个拥有 30 年使用寿命的标准牵引行业用电机。这会直接降低机车成本，并增强我们电源模块的竞争力。”

焦耳热和热膨胀

作者：HENRIK SÖNNERLIND

电流会因为电阻损耗而产生热，即焦耳热。由于电阻通常与温度有很强的依赖关系，所以只有同时求解传热问题和电问题才能精确找出温度和电流的分布。

发热的影响之一便是热膨胀，它会引起变形。之后，几个因素可能会诱发出大的应变和应力。热膨胀系数不同的材料产生的变形将不兼容，而且单种材料内部也可能存在较大的温度梯度。

在一些情况下，热分布还会受到结构变形的影响。例如，当对象相互接触，或大的变形造成电和热边界条件改变时，就将产生剧烈的形状改变。如果加热循环反复发生，对应的应力和应变循环也将重复发生，这最终会使材料发生疲劳失效。

在 COMSOL Multiphysics® 软件中，您可以选择结构力学‘焦耳热和热膨胀’物理场接口来直接耦合分析这些效应。

这样一来，三个将产生影响的物理场接口会被增加到应用中，即固体力学、固体传热和电流，同时还会通过多物理场耦合节点增加必要的多物理场耦合。

您可以设定这三个物理场接口的求解方法。其中一个方法是首先在瞬态研究中同时求解电流和温度，然后在稳态研究中求解结构力学问题。因为最高的应力可能在热



循环的任意时间点出现，所以需要每隔几个时间步长检查一次应力值。

计算得到的应力值已足够满足定性比较的需求，但如果继续增加疲劳接口的话，您还将能够进行使用寿命的预测。

集成传感器设计进一步提升葡萄糖监测水平

借助多物理场仿真的力量, 罗氏 (Roche) 诊断公司的研究和设计人员正在开发一款更精确的可用于糖尿病人治疗的葡萄糖传感器。

作者: LEXI CARVER

在各种帮助糖尿病人保持良好的健康状况及避免并发症的治疗方案中, 通过葡萄糖监测进行密切的代谢控制是较知名的一种。最新一代葡萄糖监测仪主要依靠电化学方法, 能够提供前所未有的测量精度, 可以作为糖尿病患者控制其饮食和胰岛素摄入水平的可靠依据。

但是, 发生在葡萄糖监测仪感应条内的化学反应对环境条件和化学干扰都很敏感。传感器会运往世界各地, 存储环境不确定, 而且用户的知识水平和经验差别很大。要保证传感器能够承受这些环境的考验、给出精确的结果, 以及能检测出各种可能引起误差的条件, 稳健的设计是关键。现在, 科学家们正结合多物理场仿真与实验来理解这些系统中相互作用的化学、电和生物现象, 希望能据此优化他们的设计和测量方法。

» 新型传感器取得突破

罗氏糖尿病护理公司 (Roche Diabetes Care) 是一家世界领先的糖尿病诊断产品及服务领域的供应商, 他们现在正尝试更好地理解现有设备中的电化学现象, 同时积极设计能提供更精确监测的新型传感方法。和其他电流型生物传感器类似, 他们的血糖仪 (见图 1 示例) 将测量向电极系统施加电压后产生的电流。在加入了化学试剂的血液样本中, 产生的电流与电解质溶液中的葡萄糖水平成正比。



图 1: 罗氏诊断开发的 ACCU-CHEK Aviva® 及 ACCU-CHEK Nano® 图片。

每条葡萄糖试纸都包含一些金色示踪线, 电流会从试纸的电极系统流到葡萄糖仪内嵌的电触头中 (见图 2)。试剂中包括葡萄糖-反应酶和一种非常稳定的名为抗原-介体的化学物质, 它们会在制造时沉积到电极上, 然后进行干燥。在接收血液样品的电极系统中构建一个毛细孔道, 它负责对试剂进行再水化, 使之能与血液中的葡萄糖发生反应。“葡萄糖与酶

之间的最初反应会将抗原-介体转化为一种低势能的反应介体, 负责完成之后发生的反应。”罗氏诊断运营公司 (Roche Diagnostics Operations, Inc) 的首席科学家 Harvey Buck 解释说。

» 仿真揭开了化学和电的谜团

在反应过程中, 施加在电极上的直流电压会带来电流响应, 后者可以用于预测血液样本中的葡萄糖浓度, 从而为患者提供有关应该采取哪些措施来调节血糖水平的关键信息。但试纸的构型和制造会影响它的响应精度。在他们所分析的几种新型试纸设计中, 罗氏团队针对其中的一种运行了两个 COMSOL Multiphysics® 仿真, 将化学反应电、力学和温度条件相分离, 以便分析电压响应。

分离的系统中包含许多参数和耦合变量, 比如不同化学物质的浓度。试剂系统包括了化学物质间复杂的相互作用和它们各自的反应, 因此很难预测它们对不同测量方法或干扰物质的响应。因此, 团队做了一个简化假设, 即化学物质的传质仅发生在电极上方极薄的一层中, 因为该层非常薄, 所以垂直于表面方向上的反应可

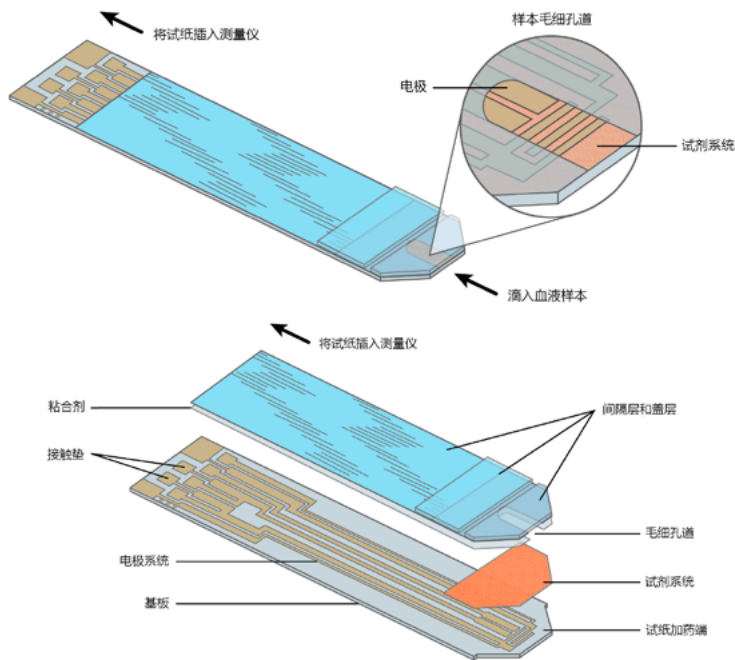


图 2: 试纸部件示意图。电极正上方发生化学反应。粘合剂和垫片层形成了毛细孔道的曲边, 并将电极、试剂系统以及上盖和底盖粘合在一起。

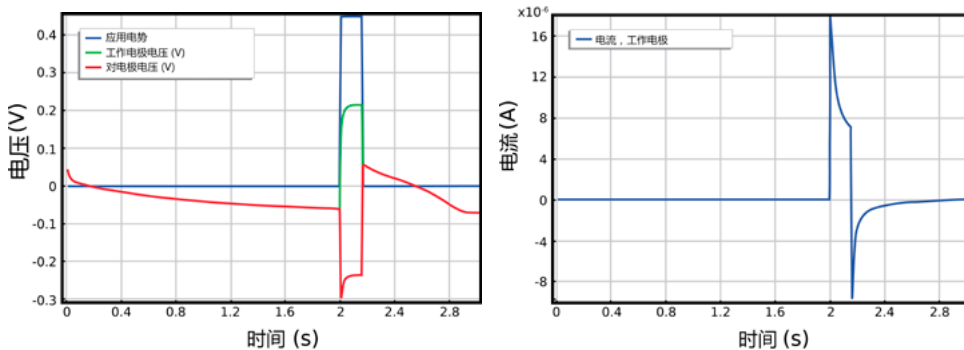


图 3: 仿真结果显示了罗氏传感器中施加的电势差、工作和对电极的电势(左), 以及电流对电势差阶跃的响应(右)。电流响应与样本中葡萄糖的浓度成正比。工作电极和对电极的电势(分别为绿色和红色)不可测量, 仅能通过仿真获取。

以被看作是均匀的。“我们开发了一个一维模型来理解和预测响应, 需要结合 Michaelis Menten 酶动力学和混合 Butler-Volmer 电极动力学。” Buck 评论道。

确定了不同的反应速率之后, 就可以轻松地在软件中执行相关方程。通过将模型限制在一维, 能够在合理的求解时间内预测传感器对不同直流电势

曲线的响应(见图 3)。

但是, 直流电还会受到温度和样品中红细胞分数(称红细胞压积)的影响, 因此进行直流测量前, 会先施加一个交流信号来获取用

于补偿这些效应的阻抗信息(见图 4)。在一个数学算法中结合了这些因素与直流测量, 从而为传感器提供了真正精确预测葡萄糖水平所需的信息。

他们证实, COMSOL® 软件的功能对于解读这些复杂的测量相当有用。“我们很快发现, 在模拟过程中, 当你尝试应用一个大的势差阶跃在电极处创建扩散-限制通量时, 可能会得到一个不切实际的过高的结果。” Buck 说, “但是在 COMSOL 中, 你可以轻松地使用浓度变量的对数变换, 这真正简化了分析过程。”

“阻抗测量对样本非常敏感, 但对试剂没那么敏感。” Buck 继续介绍, “对电极进行排布以实现阻抗测量是传感器设计中的一个重要组成部分, 它会极大地影响测量灵敏度。”接下来, Buck 的团队开发了细胞模型来求解电问题, 这一次是三维模型。“细胞中样本的电导率代表了红细胞压积的变化。我们能够分析不同的电极构型和材料, 预测阻抗测量对红细胞压积和传感器其他机械性能的敏感度, 比如毛细孔道的高度和垫片的放置。”(见图 5)

电极由溅射金属膜制造, 它的电阻会极大地影响阻抗测量和电势分布。在不

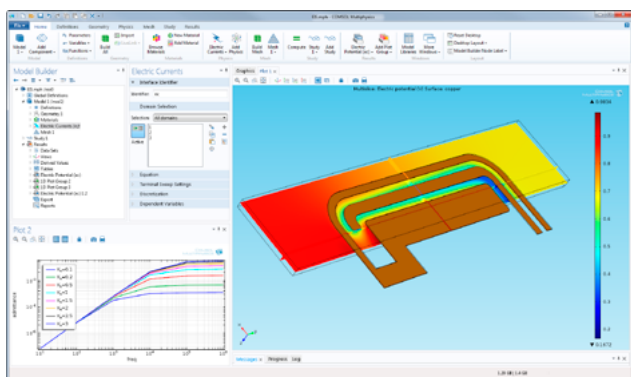


图 4: Buck 的三维 COMSOL 仿真显示了不同电导率的导纳响应, 在对数尺度下绘制 (左下方), 以及传感器测量区的电势绘图 (右)。金电极通过表面阻抗接触面与电解质产生接触。

“我们能够分析不同的电极构型和材料, 预测阻抗测量对红细胞压积和传感器其他机械性能的敏感度, 比如毛细孔道的高度和垫片的放置。”

— HARVEY BUCK, 罗氏诊断公司首席科学家

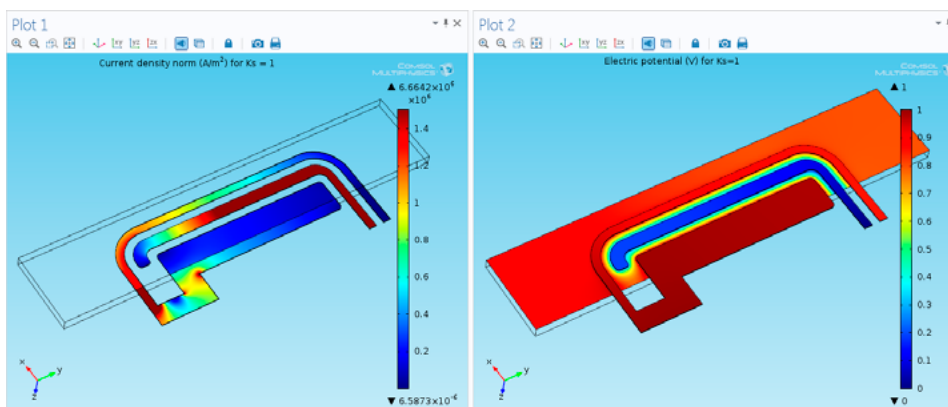


图 5: COMSOL 仿真结果显示了电极和电解质中的电流分布 (左) 和电势 (右)。

对系统进行物理破坏的前提下, 我们无法对测量细胞内电极间或电解质中的电势降进行测量, 但可以比较轻松地对它进行模拟。

在 COMSOL 结果的指导下, Buck 调整了工作电极和对电极的形状、长度和间距, 最终成功地针对阻抗测量优化了电极设计。最后, 他能够在最大化电极对红细胞压积水平敏感度的同时, 最小化它对制造容差的敏感度, 因此保证了对直流信号补偿的精确阻抗测量。这也为新设计的生产铺平了道路。

» 打开葡萄糖监控的新视野

通过在 COMSOL 中对修正化学和电响应的模拟, 罗氏的研究人员更加深入地理解了他们的新型传感器设计, 并设计出了能够调整直流信号以实现更精确测量的葡萄糖监控仪。他们的创新系统及其内置的传感功能, 为生物传感器器件定义了一个全新的标准。仿真使他们能对一些无法通过实验测量的参数展开分析, 从而能够有理有据地做出设计决策, 进而优化电极配置。他们还将这些持续的研究与模拟工作带到了新型传感器的制造中, 最终将为糖尿病患者带来更好的治疗。🕒



Harvey Buck, 罗氏诊断公司首席科学家

富士胶片集团对打印头单层压电片驱动器进行的仿真

富士胶片集团的工程师使用多物理场仿真来收集验证数据, 借以改进工业打印头中驱动装置的性能。

作者: LEXI CARVER

工业喷墨打印机的应用范围非常广泛, 从商品包装和宽幅图片, 到招牌、织物, 它甚至能够应用于电子领域, 可以说, 喷墨印刷帮我们实现了日常活动中的信息分享与交流。富士胶片集团是商用喷墨打印头的领先制造商, 它们正在 MEMS 驱动器的开发中使用多物理场仿真来推进最新型喷墨打印产品的研发。

» 利用微米量级压电驱动器进行打印

在富士胶片集团, 研发团队的首席科学家 Chris Menzel 正在研究打印头驱动技术, 以推动公司最新型单层压电膜片式驱动器的设计。这些驱动器通过 MEMS 制造工艺开发, 其中用到了高性能薄膜压电层。这种钛酸铅 (PZT) 压电换能器中的高质量专有喷溅层是一种电工陶瓷, 会在施加电场后变形, 广泛用于多种换能器。PZT 附在一层硅膜上, 然后将驱动器排在晶圆表面, 每个驱动器对应于一个包含多个流道及一个喷管的微型喷嘴 (见图 1 和图 2)。打印头中紧密排列了上千个这种系统。

每个喷嘴中的组件 (流道和驱动器) 组合在一

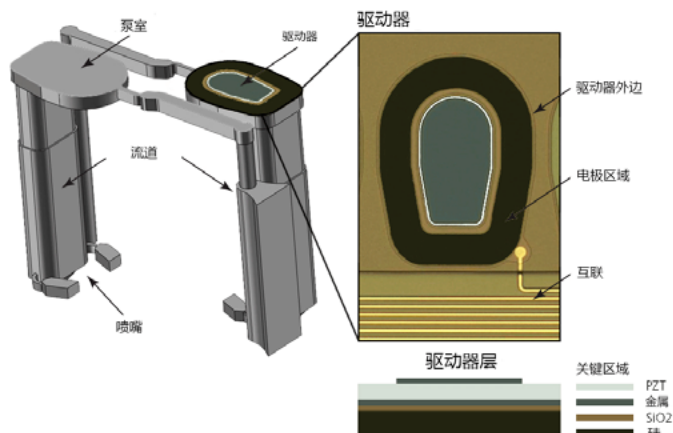


图 1: 富士胶片公司开发的打印头几何。每个充满了墨水的泵室上方都安装了一个驱动器。泵室下方是将墨水运至喷嘴的流道。

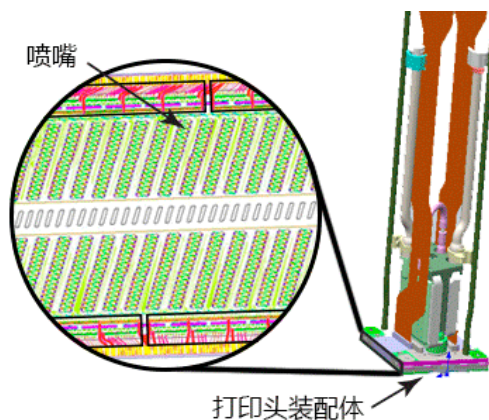


图 2: 晶圆上喷嘴的放大图, 以及在打印头装配体中的位置。

起, 形成了一个谐振式射流器件。在 PZT 电气仿真中, 对脉冲进行了调谐来模拟喷射的谐振, 驱动器发生挠曲, 在紧密连接的流道中产生声波。喷嘴设计能够高效地将压力波转换为脉动流, 后者需要突

破喷嘴处的表面张力来喷出墨滴。当产生的流体动量足够大时, 液滴会被喷射出来, 然后落到基底上。

Menzel 希望能通过他的设计来定义驱动器与射流流道, 二者的结合将

能在给定速度下生成满足特定质量要求的液滴，并在可用电压下实现目标的最大发射频率。这一设计过程也暗含了对微型化以及低成本化的需求。基于这一需求，驱动器设计的首要考量需要包括最大化挠曲、最小化尺寸，以及匹配驱动器与流道和管口的阻抗。

» 仿真揭示了驱动器的柔量与输出

由于驱动器发挥的作用来自其复杂的喷射系统，所以需要使用两步骤模拟方法。首先，Menzel 确定了不同驱动器几何的功能参数。随后，他在完整射流模型中使用了这些参数，以确定整个系统的响应。

“我们建立了一个 COMSOL Multiphysics® 软件仿真模型来确定驱动器的功能。” Menzel 说，“仿真帮助我们理解了功能参数与我们的工艺所能生产的各种层厚、边界条件以及尺寸之间的关系。软件对大量参数进行高效

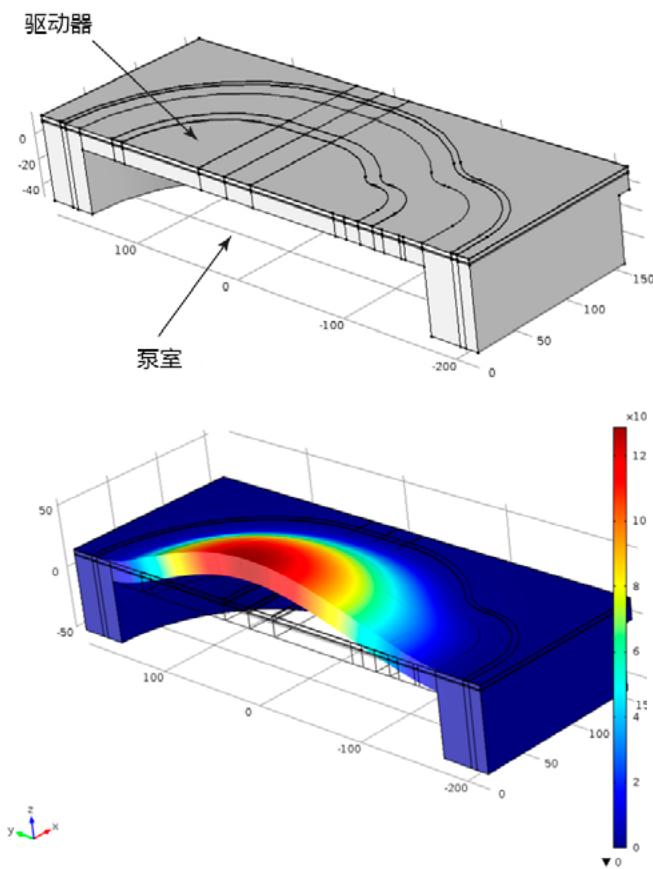


图 3: 上: Menzel 的 COMSOL® 软件模型, 显示了驱动器几何的一半, 包含金属、硅、PZT、电极以及增压墨水泵室。
下: 仿真结果显示了驱动器的挠曲。

扫描, 并提供了许多极富价值、又很容易解读的结果。它支持我们轻松优化整个系统响应, 进而让我们能对产品进行优化。”

他模拟了沿中心轴切

开的一半驱动器几何, 包含硅、金属、绝缘子以及 PZT 等层 (见图 3 上)。在驱动器的下方, 他还加入了充满墨水的泵室与邻近的部分流

道, 然后执行仿真来提取驱动器在压力载荷下 (即柔量) 的变形与在电压载荷 (即输出) 下的挠曲 (见图 3 下)。Menzel 研究了各种不同驱动器的几何结构, 所得结果用在了大尺度模型中, 用于执行系统级设计优化。

» 努力开发更快速、更小型的打印头

COMSOL 的结果帮助 Menzel 更新了设计, 并为他提供了将新器件安装到紧凑规格与更小型驱动器几何中所需的信息。多物理场模型揭示了一些相当有价值的信息, 使工程团队能够更好地理解驱动器与喷嘴的各个方面。现在, 仿真仍是评估驱动器概念与产品可行性的出发点; 设计时间的相应缩短对于有效及高效地推出产品至关重要。在仿真的帮助下, 富士胶片集团会继续引领打印头设计行业的发展, 将更高质量的打印技术推向市场。◎

“软件能够对大量参数进行高效扫描并提供易于解读的结果是极具价值的。它支持我们轻松优化整个系统响应, 进而让我们能对产品进行优化。”

— CHRIS MENZEL, 富士胶片集团首席科学家

压电效应模拟

作者: YESWANTH RAO

压电材料是一种固体材料，分为天然与人造两类，当施加机械应变后，材料将出现电子极化，这一现象称作正压电效应。它们还会展示出逆压电效应，也就是施加电场后产生机械应变。压电材料是一种天然的换能器，可以用于多种传感器和驱动器。

COMSOL Multiphysics® 软件提供了预定义的压电设备接口，其中耦合了模拟这些现象时所需的物理场，包括静电与结构力学（图 1）。

要精确地进行模拟，需要仔细描述材料属性与方向性。‘压电设备’接口支持用户以应力-电荷型或应变-电荷型的形式指定材料属性（图 2），同时提供了使用欧拉角定义材料方向性的选项。

一个器件通常会包含许多组件，压电材料只是其中一个。如果希望捕捉整体器件的真实行为，就需要模拟压电器件与周围材料之间的相互作用。COMSOL® 软件提供了多物理场模拟功能，用户可以轻松地在‘压电设备’接口中耦合如压力声学、流体流

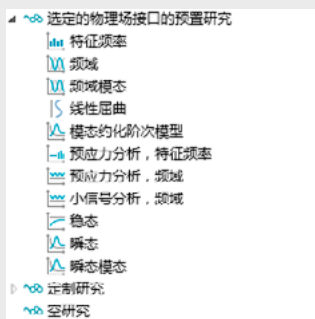
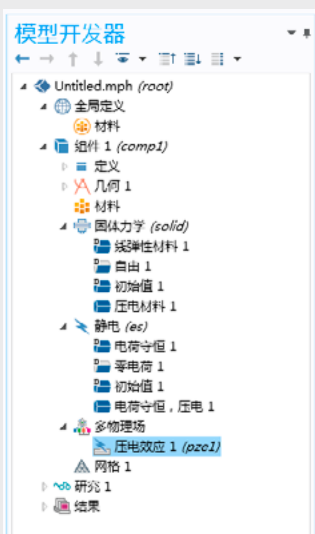


图 1: COMSOL® 软件模型开发器，显示了模拟压电效应的设定(上)；以及可以用来模拟压电应用的研究(下)。

动以及结构振动等物理场（图 3）。对可能影响器件性能的阻尼机制的描述也非常重要，COMSOL 支持用户加

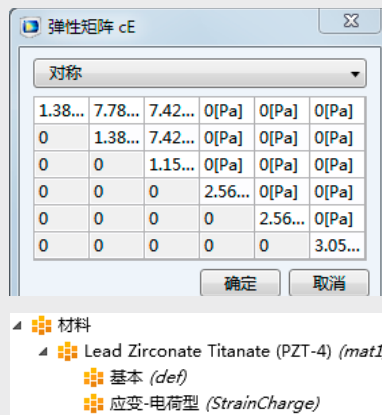


图 2: 应变-电荷型设置，显示了弹性矩阵，可以通过模型开发器材料节点访问。

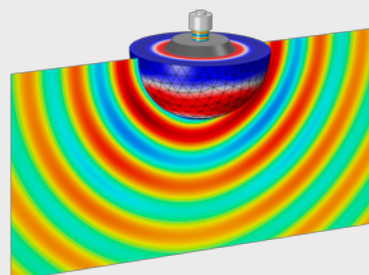


图 3: 蘑菇头型压电换能器的仿真，结果显示了声压水平，包括压电陶瓷环中的远场与电压分布。这些换能器用于发射低频大功率声波。

入机械阻尼、介电损耗、传导损耗和压电耦合损耗。

借助高性能计算进行仿真，设计定制化大功率电子器件

COMSOL Multiphysics 及其高性能计算功能，使我们能用比以往快得多的速度向客户交付出最好的设计。

作者: DEXTER JOHNSON

BLOCK 集团 (Block Transformatoren Elektronik) 是线圈类产品的领先制造商，产品广泛应用于各行各业，特别是电子产品应用。

在设计各类定制变压器、电源、EMC 滤波器与电抗器 (见图 1) 时，BLOCK 公司的工程师不仅要保证工作频率、产品尺寸及重量、电源损耗、电绝缘等符合规格要求，还要保证产品能适应不同的环境条件，包括灰尘、温度变化，或者湿度等；此外，这类设备通常还要满足 30 年使用寿命的要求。

“客户的具体应用可能会限制可用的材料，”负责 BLOCK 所有仿真工作的 Marek Siatkowski 这么说道，“例如，在铁路应用中，材料必须要满足各类严格的要求，例如可燃性标准、发生火灾时的烟气毒性，等等。所以我们的工作并非只是打开产品目录，让客户从中选一个那么简单。客户会指定尺寸和具体要求，每次，我们都必须进行一组新的计算。”

BLOCK 发现在这些情况下，公司的仿真软件已经过时，使得电感器和变压器的设计难度变得越来越高。为了节省成本并向客户提供更好的服务，公司需要找到一个方法，在最终确定设计之前减少需要制造的原型机数量。

有了这样的想法之后，因为 COMSOL Multiphysics® 软件灵活、易于使用，并且支持高性能计算 (HPC)，BLOCK

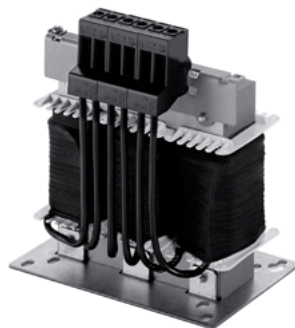


图 1: 用于滤除电流尖刺的电源优化器，减少了电源中谐波电流的注入。

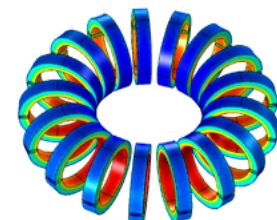
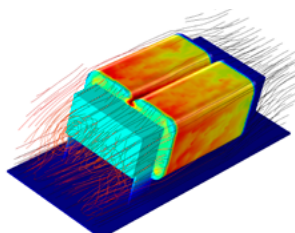


图 2: 空气冷却型直流电感器的仿真，显示了温度分布和速度流线 (上)。环形电感器的磁通密度 (下)。将电感作为线圈内径、外径和厚度的函数，通过数值仿真确定。

公司就开始使用 COMSOL 软件。

“我们模拟了新的元件，以便找出其中的关键区域，例如，电磁损耗很高，或者元件温度达到某个阈值的区域。” Siatkowski 说，“利用 COMSOL，我们

可以找出这些区域并模拟相关的物理效应，从而快速精确地找出改进设计的方法。”

在 BLOCK 的测试实验室，研发部门正在分析一些软磁材料的磁性特征和磁滞损耗。公司选用 COMSOL® 软件的一个主要原因是，他用户可以轻松地 向软件中插入他们这些年来对磁性的研究中所开发的公式，并将其用于仿真。

» HPC 带来更大的突破

除了多物理场仿真，BLOCK 还充分利用了 COMSOL Multiphysics 提供的 HPC 功能：他们可以在不限核数的多核工作站和不限计算节点的集群中运行仿真。不论工作站还是集群，都可以帮助提升效率；现在，他们的研发团队可以快速地向客户交付出最好的产品。

Siatkowski 通过使用 COMSOL 为多个 BLOCK 元件开发了模型，通常很难对这些器件进行解析计算。他可以基于一些参数和客户的具体需求来建立几何模型，Siatkowski 为直流电感器开发的模型就是这样一个例子。

“利用 COMSOL，我可以运行一个包含多个参数的仿真，例如线圈的宽度、高

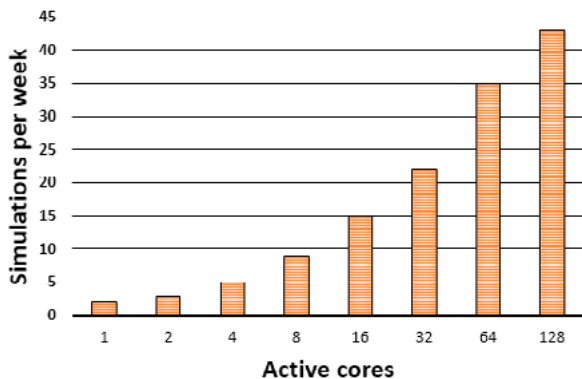


图 3: 从单个八核工作站移到小型集群后, 性能明显提升。

度和厚度, 还可以探索由我们的团队和客户定义的整个设计空间。现在, 我们的产品开发人员和销售团队可以更加高效和轻松地找出最佳解决方案。” Siatkowski 解释说。

» 一切基于架构

“对于较小的模型, 我可以直接在我的工作站上开发模型并进行计算。” Siatkowski 说, “但对于更大的模型, 我的工作站依然不够快, 内存也不够大。”

这时 COMSOL 灵活的特性就发挥了重要的作用, 它的软件架构和“慷慨”的许可证机制使它支持 HPC, BLOCK 充分利用了这一点。之后, Siatkowski 开始在包含多个内核的数台计算机上运行他的模型。

“我正在使用一个包含 22 个内核及 272 GB RAM 的集群, 可以在这里轻松地远程运行我的仿真。” Siatkowski 说, “COMSOL 支持分布式内存并行计算, 集群的每个节点也可以从本地共享内存式并行计算中受益; 这意味着我可以最大限度地利用所有可用的硬件。” 图 3 显示了在一个大型的电气研究中每周获得的仿真加速情况。

在高性能计算机上运行仿真后, Siatkowski 可以在他的工作站上查看结果, 并对结果进行后处理。“这样做的优势是, 运行仿真时, 我的工作站是空闲的, 因此可以做其他一些工作, 甚至能对其他模型进行前处理后处理。COMSOL 软件的架构帮我们提升了生产力, 使我们能为客户提供更好的服务。”



从左到右: C. Kliesch (本科生)、M. Siatkowski 博士 (高级研发人员)、M. Owzareck (高级研发人员)、A. Bimidi (学生实习生)、Y. Kumar (硕士生) 和 D. Kampen 博士 (高级研发部负责人)。

接第 32 页

以前, 这些复现型分析往往需要花费一名精通仿真的专家投入几个小时的时间。在 COMSOL App 的帮助下, 我们团队中各个层次的员工都可以毫不费力地轻松运行仿真。

总之, COMSOL 提供的多物理场仿真与 App 设计帮助我们的设计师做出了更好、更具竞争力的产品。效率是我们公司理念的核心: 使用更少的资源, 做出更多的成果。这不仅限于我们的产品效率, 也适用于指导我们的经营、创新与新设计开发。在 APEI 当前最优异的宽带隙解决方案的开发中, App 开发器是其中一个不可或缺的重要组成部分。



BRICE MCPHERSON 是 APEI 的一名高级工程师, 拥有 11 年的相关经验。主要负责极端环境下的高性能宽带隙功率半导体的封装设计。他专长于参数化 CAD 设计与 APEI 电源模块和转换系统的分析。

仿真 App 简化电力电子器件的设计

作者: BRICE MCPHERSON

从手机充电器，到工业级的电力配送，电力电子器件在几乎所有用电的应用领域中都必不可少。不同的应用都需要将能量从一种形式转化为另一种形式。例如，开动电动汽车中的发动机时，就涉及电源开关、驱动器、滤波器、传感器和控制电路。这些转化系统需要能以一种尽量高效、安全与低成本的方式处理电能。

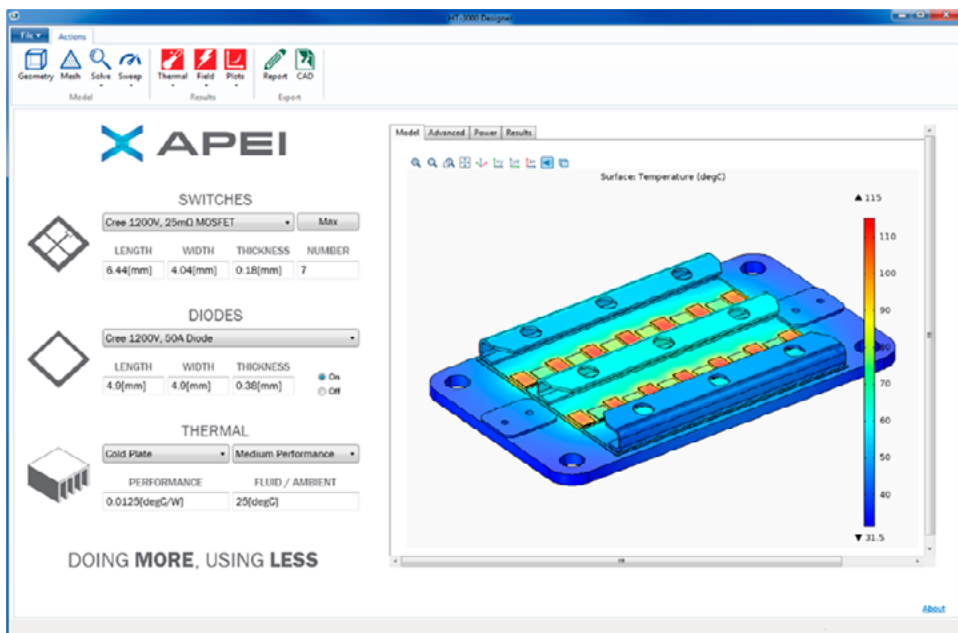
在 APEI，我们正在开发一种利用宽带隙半导体的递进解决方案，希望能藉此突破现有电力电子系统的各种限制。相对传统半导体，它能够阻断更高的电压、承载更大的电流、支持更快地开关，并能更高效地消散废热。这些优点对于能在日益减少的体积中更加高效地处理大量能量至关重要。

COMSOL Multiphysics® 软件及 App 开发器从根本上改进了我们产品的设计、支持以及推广方式。在现实世界中大部分问题，并非只会受到单个独立物理现象的影响。电气系统中包含紧密联系的传热、电气以及力学行为；因此，为了全面了解影响产品性能的各个因素必须同时对它们的影响与相互作用进行研究。对我们的工程师而言，COMSOL Multiphysics

仿真是一个非常重要的工具，它使我们能够更加详尽地了解我们的产品，并能对它在真实世界中的性能进行虚拟评估，并且还可以减少对原型机数量的需求。

在 App 开发器发布后，我们就迫不及待地开始尝试。让我们感到惊讶的是，我们很轻松地就开发出了我们的首款 App，用于分析微型连接线上熔断电流与阻抗的工具。这些连接线主要用于半导体器件间的相互连接。我们只要花费很少的时间就能将现有的 COMSOL® 软件仿真模型转化为一个基于强大多物理场模型并且简单易用的 App。拖放式图形界面、直观的控制与输入框、以及在 COMSOL 环境中的完全集成，都极大地缩短了我们的学习过程。简而言之，如果你能创建模型，那就可以轻松地在此基础上开发一个 App。

我们现在有多个 App，从简单的设计工具，到能够提取我们电源模块中所有与客户配置相关的性能与设计参数的综合分析器。在这些工具的帮助下，我们的工程师能够花费最短的时间、投入很少的精力，就能根据客户的需求定制设计。



APEI 开发的 COMSOL® 软件仿真 App，用于预测不同电源模块设计的性能。

请前往第 31 页继续阅读