



开放人文

# SILICON EARTH

Introduction to the Microelectronics  
and Nanotechnology Revolution

CAMBRIDGE

[美] 约翰·D·克雷斯勒 著 张溶冰 张晨博 译

John D. Cressler

## 硅星球

微电子学与纳米技术革命

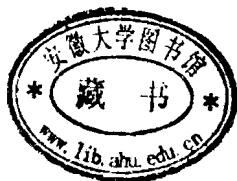
上海世纪出版集团

# 硅 星 球

## 微电子学与纳米技术革命

[美] 约翰·D·克雷斯勒 著

张溶冰 张晨博 译



世纪出版集团 上海科技教育出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

硅星球：微电子学与纳米技术革命/(美)克雷斯勒  
(Cressler, J.) 著; 张溶冰, 张晨博译. —上海: 上海科  
技教育出版社, 2012. 12

(世纪人文系列丛书·开放人文)

ISBN 978-7-5428-5555-8

I. ①硅… II. ①克… ②张… ③张… III. ①微电子  
学—研究 ②纳米技术—研究 IV. ①TN4 ②TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 256034 号

---

责任编辑 裴 剑 叶 剑

装帧设计 陆智昌 朱赢椿

---

**硅星球——微电子学与纳米技术革命**

[美] 约翰·D·克雷斯勒 著

张溶冰 张晨博 译

出 版 世纪出版集团 上海科技教育出版社  
(200235 上海冠生园路 393 号 www.ewen.cc)

发 行 上海世纪出版集团发行中心

印 刷 上海商务联西印刷有限公司

开 本 635×965 mm 1/16

印 张 39.25

插 页 12

字 数 470 000

版 次 2012 年 12 月第 1 版

印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5428-5555-8/N·861

图 字 09-2011-057 号

定 价 88.00 元

## 出版说明

自中西文明发生碰撞以来，百余年的中国现代文化建设即无可避免地担负起双重使命。梳理和探究西方文明的根源及脉络，已成为我们理解并提升自身要义的借镜，整理和传承中国文明的传统，更是我们实现并弘扬自身价值的根本。此二者的交汇，乃是塑造现代中国之精神品格的必由进路。世纪出版集团倾力编辑世纪人文系列丛书之宗旨亦在于此。

世纪人文系列丛书包涵“世纪文库”、“世纪前沿”、“袖珍经典”、“大学经典”及“开放人文”五个界面，各成系列，相得益彰。

“厘清西方思想脉络，更新中国学术传统”，为“世纪文库”之编辑指针。文库分为中西两大书系。中学书系由清末民初开始，全面整理中国近现代以来的学术著作，以期为今人反思现代中国的社会和精神处境铺建思考的进阶；西学书系旨在从西方文明的整体进程出发，系统译介自古希腊罗马以降的经典文献，借此展现西方思想传统的生发流变过程，从而为我们返回现代中国之核心问题奠定坚实的文本基础。与之呼应，“世纪前沿”着重关注二战以来全球范围内学术思想的重要论题与最新进展，展示各学科领域的新近成果和当代文化思潮演化的各种向度。“袖珍经典”则以相对简约的形式，收录名家大师们在体裁和风格上独具特色的经典作品，阐幽发微，意趣兼得。

遵循现代人文教育和公民教育的理念,秉承“通达民情,化育人心”的中国传统教育精神,“大学经典”依据中西文明传统的知识谱系及其价值内涵,将人类历史上具有人文内涵的经典作品编辑成为大学教育的基础读本,应时代所需,顺时势所趋,为塑造现代中国人的人文素养、公民意识和国家精神倾力尽心。“开放人文”旨在提供全景式的人文阅读平台,从文学、历史、艺术、科学等多个面向调动读者的阅读愉悦,寓学于乐,寓乐于心,为广大读者陶冶心性,培植情操。

“大学之道,在明明德,在新民,在止于至善”(《大学》)。温古知今,止于至善,是人类得以理解生命价值的人文情怀,亦是文明得以传承和发展的精神契机。欲实现中华民族的伟大复兴,必先培育中华民族的文化精神;由此,我们深知现代中国出版人的职责所在,以我之不懈努力,做一代又一代中国人的文化脊梁。

上海世纪出版集团

世纪人文系列丛书编辑委员会

2005年1月

硅星球

寄言微电子学与纳米技术学科的积极进取的学生们

希望你们志存高远，

再创一个充满希望的新世界！

寄言玛丽亚

我结发 26 年的美丽妻子、最好的朋友与精神伴侣！

寄言约翰、伊丽莎白和乔安娜·玛丽亚

你们是上帝的杰作，是上帝赐予我们的宝贵礼物！

祝你们前途无量！

我们所能有的最美好的经验

是奥秘的经验。

它是坚守在真正艺术和真正科学发源地上的

基本感情。

谁要是体验不到它，

谁要是不再有好奇心，

也不再有惊讶的感觉，

他就无异于行尸走肉，

他的眼睛便是迷糊不清的。

——爱因斯坦 (Albert Einstein)



# 对本书的评价

在这本独一无二的书中，克雷斯勒展现了他广阔而多样的知识面，揭开了具有不可抗拒魅力的微电子领域的面纱。

——《选择》 (*Choice*)

本书将引领你进入一段探索现代电子学与纳米技术领域奇迹的历史航程。它向读者提供了层层递进的关于多种技术的发展史的讨论，包括硅基电子学、微机电结构、纳米技术，以及这些科学技术对我们生活的影响。本书涉及的主题异常丰富全面，语言通俗易懂、激动人心。本书注定会成为经典。

——莫哈拉迪 (Mohammad Mojarradi) 、  
布莱洛克 (Benjamin Blalock) ，  
《IEEE 纳米技术》 (*IEEE Nanotechnology*)

# 内 容 提 要

我们正处在有史以来最能改变人类生活的技术革命漩涡的中心。60年在人类历史上只是一瞬间。在最近的这60年中一个技术发现引发了百舸争流，随之产生了遍布全球的一系列变革，带给人类前所未有的冲击。这些变革在全球范围内，持续加速改变着人类生存方式的基本核心。更重要的是，这些变革还仅仅处在初期阶段！本书介绍了微电子学和纳米技术的一般知识和工程基础，并探讨了这场新的科技革命正如何在各学科领域甚至整个人类文明中引起广泛的变革。本书使用浅显易懂的语言，浅明的数学知识，将众多微电子和纳米科学的神奇之处展现出来，包括半导体、晶体管、集成电路、光导纤维、手机、电子邮件、数字电视、纳米机器人等等，读者即使只有很少甚至没有技术背景，也可以顺利阅读。本书在附录中还补充了基本的物理和电气工程知识，可供需要的读者查阅。

# 作者简介

约翰·D·克雷斯勒 (John D. Cressler)，美国佐治亚理工学院电子和计算机工程专业的拜尔斯讲席教授 (Ken Byers Professor)。1990年在纽约哥伦比亚大学获得应用物理学博士学位。曾在IBM的托马斯·J·沃森研究中心工作8年。目前他的研究集中在开发下一代高速电子元件。已出版的著作有《硅锗异质结双极晶体管》(Silicon-Germanium Heterojunction Bipolar Transistor, 2003)、《重塑青少年：培养青少年个性的高雅艺术》(Reinventing Teenagers: The Gentle Art of Instilling Character in Our Young People, 2004)、《硅异质结手册：材料、制作、器件、电路以及硅锗和硅应变层外延附生的应用》(Silicon, Heterostructure Handbook: Materials, Fabrication, Devices, Circuits, and Application of SiGe and Si Strained-Layer Epitaxy, 2006)等。他2001年被选为IEEE会员，并因在教学和研究领域成就斐然而获得多个奖项。

# 前 言

我们正处在地球上有史以来最能改变人类生活的技术革命漩涡的中心。虽然 60 年在人类历史上只是一瞬间，但是在这 60 年中一个技术发现引发了百舸争流，随之产生了遍布全球的一系列变革，带给人类前所未有的冲击；这些变革在全球范围内，正不断加速改变着人类生存方式的基本核心。更重要的是，这些变革还仅仅处在初期阶段！

《硅星球》向缺乏技术背景的读者介绍了微电子学和纳米技术的奇迹，文字简洁通俗，叙述方式直观，很少运用数学。这本书介绍了微电子学和纳米技术的科学概念以及工程基础，探讨了这场新的科技革命正在如何改变着人类文明的精髓。为了满足读者对技术的好奇心，使本书更完善，特殊的“部件解构”章节解释了无处不在的微电子器件和纳米器件技术，如手机、闪存驱动器、GPS、DVD 和数码相机的内部工作方式。想要知道 iPhone 是如何工作的吗？在这里你也有机会了解！

这本书值得花费你的辛苦钱并抽时间安静地阅读么？一定值得！

正如我们所说的，微电子学和纳米技术革命正在深刻地重塑世界，极大地改变了我们的沟通、社交、购物、玩游戏、创造艺术、选举领袖、行医、施教、经商的方式，甚至我们思考的方式。这是非常重要的事情。你要在乎吗？你最好在乎，否则你将被席卷全球不断进步的微电子学—纳米技术变革扫地出门。把这本可爱的书作为你的未来投资，给自己了解并预见技术发展趋势的机会，从而比你的朋友略胜一筹。因此，来吧，用 ATM 卡将一些电子信号发送到账户上付账吧……我们开始学习！

## 1. 下战书

现在我要丢下护手，下战书\*，向你们，现代世界的年轻人，进行挑战！你们这些在校学生将成为下一代技术人员，未来的青年才俊。要赢得挑战，你必须了解微电子学和纳米技术的实质，并跃入随之而来的魅力与激情的狂欢之中，无数令人难以置信的未来应用在等待你用创造性思维去征服。别让挑战结束！而且也不能就此结束！迎接挑战吧。你很快就会在阅读时有所发现，建议你稍稍退后，回思想忖一下，考虑如何把这些非凡的微电子学和纳米技术的发明，更好地应用在全球社会，获得更美好的生活。本书最后一章审视了许多不断发展的社会变革以及环绕着微电子学和纳米技术革命的许多问题，可供你深入思考。尽管这样，先做第一件事吧，让我们学习一些微电子学和纳米技术知识！

---

\* 中世纪充斥着铠甲骑士、武侠、锁子甲、骑士精神、决斗！金属护手是手套的一种，它延长的袖口保护前臂，防止被剑攻击。丢下金属护手，意味着发出正式的挑战。戴着金属护手的骑士将他的一个护手扔在地上，表示要求向其他骑士决斗。他的对手会捡起护手，表示正式接受挑战。让比赛开始吧！

## 2. 使用本书

本书针对两类迥然不同的读者而写，除了可作为一本跨学科微电子学和纳米技术入门教科书，还可供那些对微电子学和纳米技术感兴趣、想知道这类技术包括些什么的人随手翻阅。更重要的是，本书所讲述的任何主题都不需要特殊的技术背景，因此应该适合几乎所有学科的大学新生。如果你已经离开学校一段时间，不用担心，你照样可以读下去。这本书的附录包括了基本的物理和电气工程补充知识，可根据需要进行查阅。

在佐治亚理工学院（2008年秋季），我已将这本书作为一门课程（CoE 3002）的教材在使用，题为“微电子学和纳米技术革命简介”。佐治亚理工学院参加荣誉课程项目的新生及专业二年级学生，以及参加佐治亚理工学院联合管理学院和工程学院新技术与管理项目的新生，都将学习这门课程。选修本课程的学生来自许多学科（工程、管理、科学、社会科学等），他们具有不同的教育程度。但重要的是，他们和你们一样缺乏电气工程的知识背景。这是这本书的定位。我的课程包括一些演讲，包括对校内微电子学和纳米技术研究实验室的参观，以及一些基于这本书最后一章所述的哲学和社会主题的圆桌讨论。

为了进行这些讨论，我让学生们组成辩论队。首先他们要进行研究，然后通过抽签选择讨论主题的正反面立场进行辩论，这样可以提高经验水平。学生们也参与协作的开题研究，五人一组做部件解析，在课堂上演示他们的所见。我使学习变成一种有趣味性的竞争，这样效果很好。如果有兴趣的话，我的课程网站（<http://users.ece.gatech.edu/~cressler/courses/courses.html>）包含了更多关于辩论

主题和类解构项目的内容。

我真诚地希望这种跨学科的任何人都可以学习的大学入门级微电子学和纳米技术课程成为一个跨越校园（希望是全球）的课程。令人鼓舞的景象已经出现在美国的一些大学。我相信这一课程的有些材料，如果安排妥当的话，也可以在一定范围内有效地介绍给高中生。

### 3. 特别感谢

我真诚感谢我的编辑，剑桥大学出版社的戈登（Peter Gordon）对整个项目的坚定支持。戈登是我值得信赖的良师益友，是欧文（Dave Irwin）极力推荐给我的。诚然，这让戈登花了一些时间去考虑如何发展一种明显的非传统的方法，来编写一本教科书，特别是要包容我这种“自由奔放”的写作风格。我希望这本书从第一分钟起就充满乐趣，毫不乏味；而且还要呈现出有吸引力的教科书应该是什么样子，有什么可以同时被学生以及普通读者接受。戈登同意了我的想法，帮我把想法付诸实施，将这本书打磨成了符合成本效益的出版物。他甚至还同意不对我的英语用法进行约束！如果最终出版的书籍让你产生任何阅读停顿，请归罪于我，而不要怪戈登！

我要感谢剑桥大学出版社的席斯勒（Dustin Schisler）、卡马乔（Glendaliz Camacho）和他们的同事，感谢他们熟练处理图像和版面的能力；还要感谢 Aptara 公司的福克斯（Larry Fox），为他的专业出版经验；以及达纳海（Vicki Danahy），她对于文字编辑工作非常感兴趣，并熟练完成了工作。我也感谢厄扎尔克（Poornima Ozarkar），她熟练使用 Adobe Photoshop 实现了各种神奇效果，在她的帮助下，完成了本书的封面。

我还要感谢弗格森（Mark Ferguson）、奥尔德姆（Linda

Oldham)、哈尔卡 (Monica Halka)、诺贝尔 (Greg Nobles)、梅 (Gary May)、休斯 (Joe Hughes)、威廉姆斯 (Doug Williams)、以及佐治亚理工学院的雅各布斯 (Larry Jacobs)，感谢他们支持我开始新的微/纳米课程。

我写这本书最基本的冲动和动力，源自我坚定地认为，任何主题都可以有效地传授给任何读者，只要你作为一个老师兼作家足够努力。也许是我天真吧！这当然会充满挑战，但我已经这样做了。将微电子学和纳米技术这么有技术含量的主题教给那些没有真正的电气工程背景的人，是不是够大胆？当然了！能达到好的效果吗？当然可以。很明显，一路走来，我已经得到了一些帮助。我想感谢我的很多学生，无论是本科生或研究生，多年来是他们帮助我磨炼了教学技能。

是啊，当我让我的朋友、同事、研究生、侄女、侄子、兄弟姐妹、岳母，甚至我的妻子和孩子阅读本书一些章节的初稿，听取他们的反馈，进行合理性检查时，我总是厚脸皮地占用他们的时间。这是否有意义？你能听懂吗？不合常理吗？感谢他们对我的容忍。

本着通过互联网推进社会媒体的蓬勃发展之精神，我经常从大量维基百科条目中查找这本书的相关主题，寻找灵感。如果我的教授同行们在书中发现了令人恐怖的维基引文，我向他们道歉！本书的目标读者们（非技术人士）已经非常熟悉维基百科，如果我不使用网上的海量信息，似乎显得我不够聪明。不过，让我描述一下学生应该经常听到的美国教授的教导：维基百科应当作为一个起点，而不是最终的目标。而且，对于你在网上发现的信息的准确度，由于它们基于网络，因而保持一种健康的怀疑态度始终是合理的。让我向所有的维基作者致以特别的感谢，感谢你们贡献出时间和精力，致力于提高我们



全球的基础知识水平。

本书最早的目录草案可以追溯到2005年1月——唉，四年了。是的，这是一段很长的路，还有大量的工作，但我必须承认，写这本书的时候我非常享受！如果我的写法对你来说仍然显得太技术，或者似乎在某些方面过于啰唆了，或者我一直以来都在设法拼凑一些事实，或者你觉得我可以对某些地方的讨论进行改善、做点调整，或者你真的喜欢我的方法……请无论如何都要让我知道，我希望听到你的反馈！

我现在轻轻地把我充满爱的劳动成果放在你面前。我希望我的努力能够令你满意，甚至可能让你时不时地露出微笑！享受这本书吧。

约翰·D·克雷斯勒

佐治亚理工学院电子和计算机工程学院

2009年7月