半导体合成生物学：下一代生物计算新路径

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/43019.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

半导体合成生物学：下一代生物计算新路径。半导体合成生物学（SemiSynBio）是一个新兴领域，旨在挖掘生物系统独特优势，解决计算难题。半导体合成生物学-生物计算是利用细胞或组织层面的类生物系统/器件完成计算任务。在高性能和高能效计算资源需求指数级增长的背景下，这条路径可充分挖掘生物计算系统的潜力，突破传统半导体技术的局限。

天津大学TJU-BioMEMS团队在中国工程院Engineering集群分刊ENGINEERING Chemical Engineering发表论文，综述了生物计算研究进展。半导体合成生物学?生物计算构建了一套融合生理过程、细胞/组织内部网络接口与信号交互的集成系统。其核心目标是发展设计方法论，理论与器件并行，利用细胞尺度网络及其天然通信能力，摆脱传统算法计算的约束。细胞/组织层级的生物特性为实现自组织、自修复、抗扰动、分布式、自适应、低能耗的生物计算系统提供了可靠路径，为构建具备多元应用场景的生物计算机创造了条件。未来研究重点在于探索生物计算应用中的信息处理与存储架构，尤其是非冯?诺依曼架构。

构建 DNA?合成细胞?细胞/组织三级生物计算分类框架

按照生物载体尺度，将 SemiSynBio 生物计算划分为 DNA/RNA 分子层级、合成细胞层级、细胞/组织层级三类，阐明了三类体系的实现方式、适用场景与核心差异。分子层级依靠核酸化学反应，合成细胞实现分子回路的封闭封装，细胞/组织层级直接利用活细胞自主生命行为参与计算。梳理了每一层的技术进展、优势与瓶颈，对比不同方案的性能短板，为后续该领域研究提供了清晰的分类参照与研究地图，区分了分子溶液计算、人工细胞隔离计算、活组织生命行为驱动计算的本质不同。

提出混合阻抗矩阵，建立多物理场耦合生物系统数学描述

针对生物计算长期缺少统一数学模型的痛点，类比电学欧姆定律，拓展 势?流 概念，提出混合阻抗矩阵理论，统一描述电学、力学、生化三场之间耦合作用，解决了生物计算机中多量纲难以统一的核心难题。推导得到混合系统满足线性、分配律、串并联等效等代数运算规则；进一步建立了生物能量转换方程，定义任氏模量 (Ren ’ s Modulus)表征细胞能量转换偏好，并提出 XR-JJ-PZ 能效定律，预测生物计算能效演化趋势。将理论用于解释活体二极管、Bio-FET
生物晶体管的器件工作机理，为生物计算器件的定量设计提供初步理论范式。

梳理生物计算完整技术链条，划分领域发展阶段，指明未来发展方向

整合器官芯片、细胞?半导体接口、电?生物设计自动化 EBDA (或Bio-EDA)三大关键支撑技术，

明确了生物计算实现所必需的硬件接口与软件工具。类比半导体行业的发展历程，将 SemiSynBio 发展划分为四大阶段：基础逻辑单元搭建→类晶体管功能模拟→大规模多单元集成→编程框架与 EBDA 工具开发。最后总结了五大重点发展方向，指出 NP-hard 问题求解、生物?半导体混合系统、性能评价基准等现存挑战，为下一代生物计算机从原理演示走向工程化集成给出了清晰的实施路径。

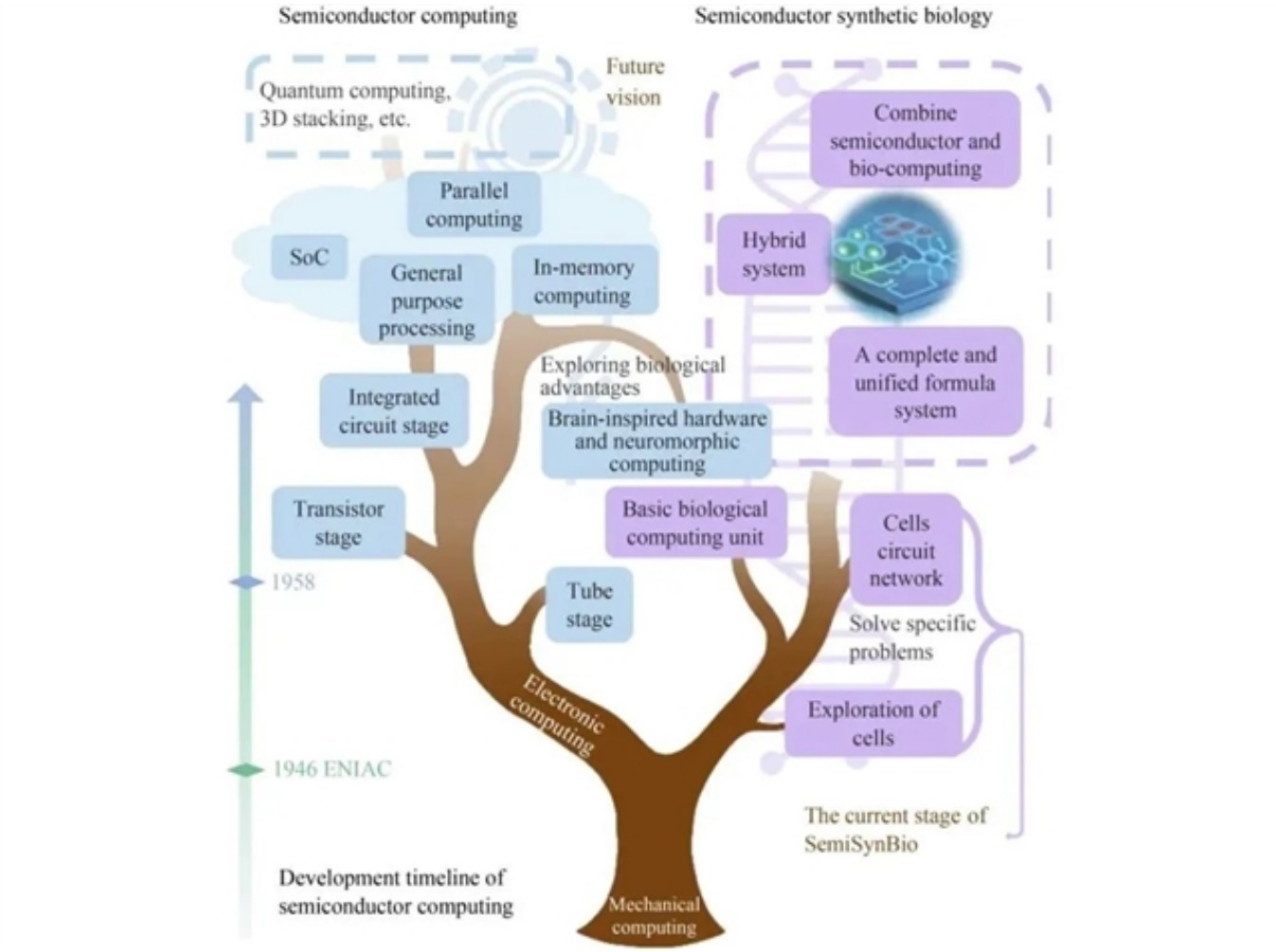


图1.计算技术演进科技树。在传统硅基半导体体系发展成熟之际，科学家重回根基点亮科技树的另一条路：半导体合成生物学体系，宏观展示从机械计算到生物计算的发展脉络，点明生物计算、生物半导体、生物芯片、生物计算机的学科定位。

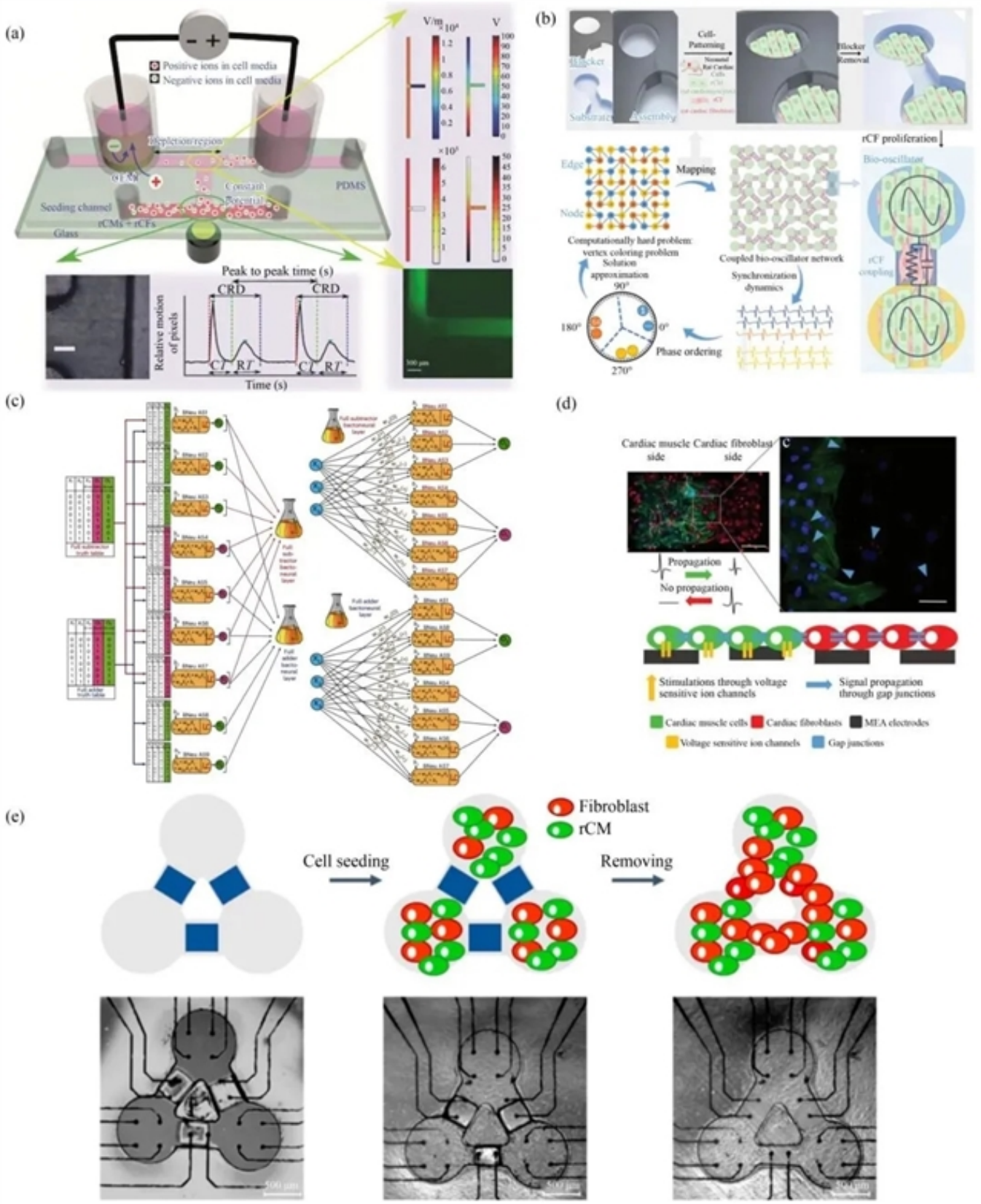


图2.细胞/组织层级生物计算代表性案例。展示了心肌细胞和工程细菌如何模拟二极管、振荡器、NMOS晶体管等传统半导体元器件，利用活细胞集群完成迷宫、图着色等复杂计算任务，体现出生物计算硬件实现路径。

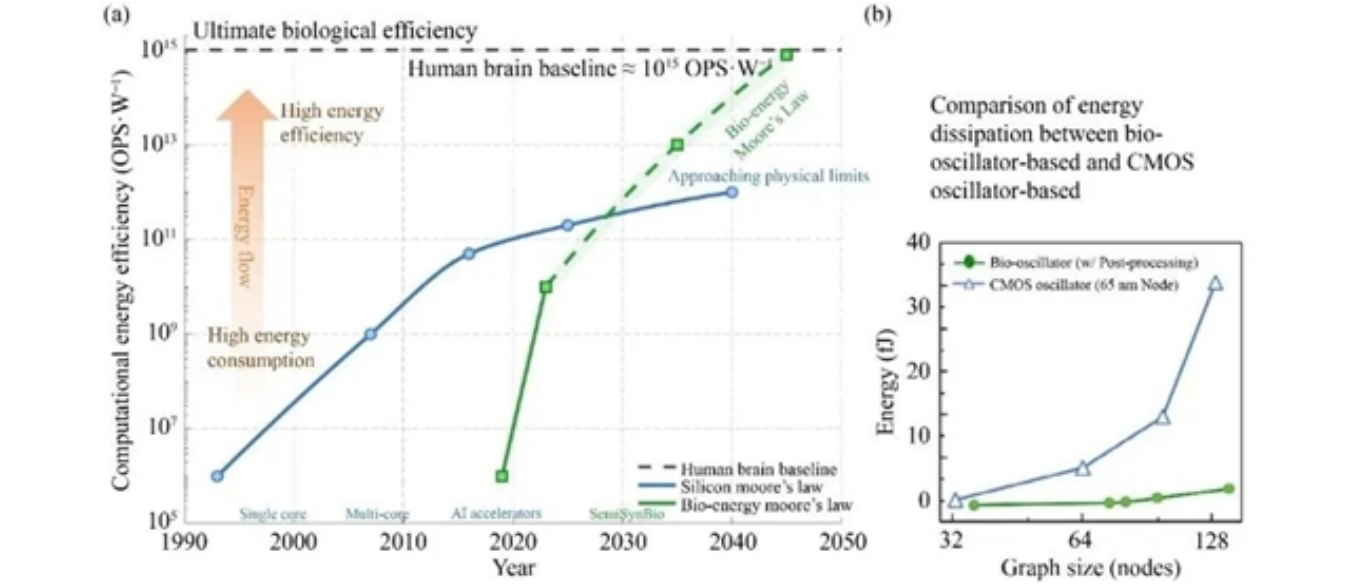


图3.硅基计算与生物计算能效趋势对比。类比摩尔定律，提出生物半导体 XR-JJ-PZ定律，预测生物计算相比传统芯片，有望更快逼近人脑高能效水平；同时对比了生物振荡器与CMOS振荡器的能耗差异。

（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：https://journal.hep.com.cn/fcse/EN/10.1007/s11705-026-2697-8

作者：TJU-BioMEMS 来源：《工程·化学工程》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发