

---

# 科学家在硅基量子计算芯片上实现量子错误探测

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/38011.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！*

科学家在硅基量子计算芯片上实现量子错误探测。1月26日，深圳国际量子研究院俞大鹏、贺煜团队在《自然—电子学》发表最新研究成果。研究团队在原子级精度加工的硅基量子计算芯片上，首次成功演示了与容错量子计算架构兼容的基于稳定子的量子错误探测，并直接揭示了硅基自旋量子比特系统中的强偏置噪声特性。

量子错误探测与纠正是构建大规模容错量子计算机的核心前提。硅基自旋量子比特因其与现有半导体工艺兼容、相干时间长、可大规模扩展等优势，被认为是构建通用量子计算机最具潜力的平台之一。近年来，该领域在量子比特数目、量子门保真度以及读出保真度等方面取得了一系列重要突破。

此前有研究虽然实现了基于三个自旋量子比特的相位翻转纠错的初步演示，但与表面码等容错架构兼容的稳定子探测在硅基系统中尚未实现。

面对这一挑战，研究团队利用扫描隧道显微镜氢掩模直写技术，制备了原子级精度的硅基量子处理器。该芯片包含用于自旋读取的单电子晶体管、由磷原子团簇构成的三个量子点、控制栅极以及用来施加脉冲信号的微波天线。他们利用电子自旋共振和核磁共振等技术对其中的一个量子点进行了能谱表征，确认其包含5个磷原子核，1个邻近的氢原子核以及1个电子，并使用其中4个磷原子核自旋以及1个电子自旋比特来执行量子计算线路。

研究团队主要用量子点中的原子核自旋作为编码比特，电子自旋作为辅助比特。该芯片的核心特色在于利用共享的电子作为媒介，实现了所有核自旋之间的全连通耦合。在基本量子门表征方面，该芯片实现了平均保真度达99.57%的单比特Clifford门，以及平均保真度约97.76%的两比特CZ门。

基于此，团队利用原生的单比特门以及CCCZ门高效地构建了多比特的Toffoli门，通过态转移矩阵的表征办法证明其保真度达到95.9%，这些关键的量子门为后续高保真量子线路的执行提供了必要的工具包。

凭借这一高连通性架构，研究团队成功在所有核自旋对间制备了平均保真度为93.4%的贝尔纠缠态，并进一步生成了保真度为88.5%的四比特GHZ态，该数值刷新了硅基体系的最高纪录，充分验证了硅基磷原子处理器在制备和操控多体量子纠缠的能力。

研究团队通过设计的四量子比特错误探测电路，以量子非破坏性测量的方式，成功实现了对编码比特中发生的任意单比特错误的高效检测。此外，研究团队通过延长等待时间引入退相干过程，

---

展示了即使在量子比特发生部分退相干的情况下，纠缠信息仍能被有效地通过纠错得到恢复，验证了该错误检测方案的有效性与鲁棒性。

该研究在国际上首次在硅基量子比特系统中，利用基于稳定子测量的办法直接观测到强偏置噪声的特征，即系统退相干为主要误差来源，而非弛豫过程。这一物理特性为未来设计针对硅基自旋系统的低开销、高效率容错量子计算编码方案提供了关键实验依据。（来源：中国科学报 刁雯蕙）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41928-025-01557-1>

作者：俞大鹏等 来源：《自然—电子学》

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](https://www.iikx.com)转发