

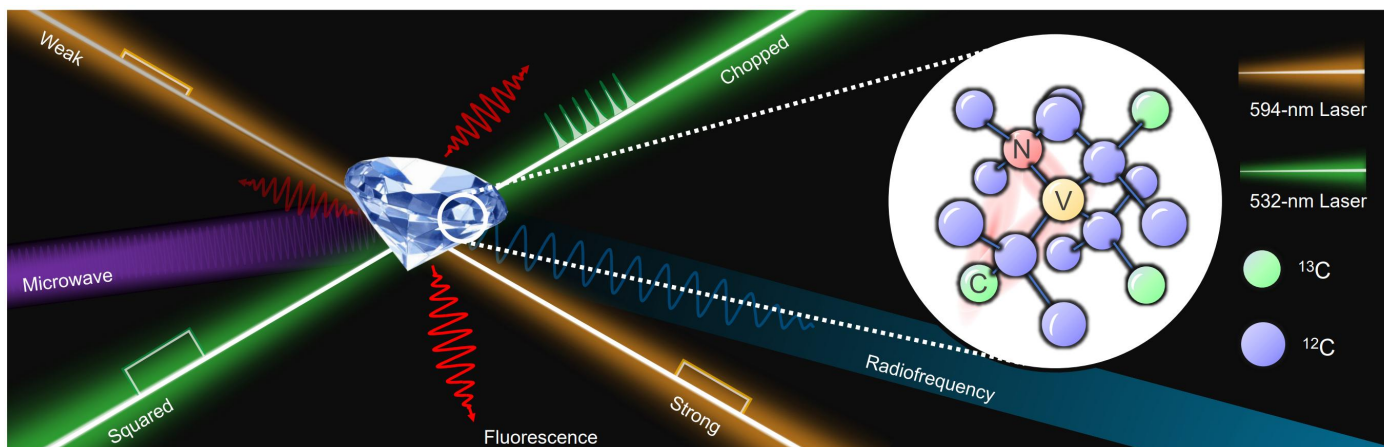
## 新闻博览

© 2021年08月13日

### 中国科大首次在固态体系实现突破标准量子极限的磁测量

中国科学技术大学中国科学院微观磁共振重点实验室杜江峰、石发展等人基于金刚石固态单自旋体系在室温大气环境下实现了突破标准量子极限的磁测量，该成果以“Beating the Standard Quantum Limit under Ambient Conditions with Solid-State Spins”为题发表在近期Science Advances上[Science Advances 7, eabg9204 (2021)]。

测量是人类认知自然的重要手段，其本质是一个物理过程，精度受到物理规律的限制。具体来说，很多测量行为都受到一个叫做标准量子极限(Standard quantum limit)的限制，但这并非最本质的极限，可以利用量子纠缠突破这一限制，并逼近一个更根本的极限——海森堡极限(Heisenberg Limit)。在过去几十年里，离子阱、原子系综、光子等很多体系都已经展示了突破标准量子极限的能力，其中一些已应用于光钟和引力波探测等领域。

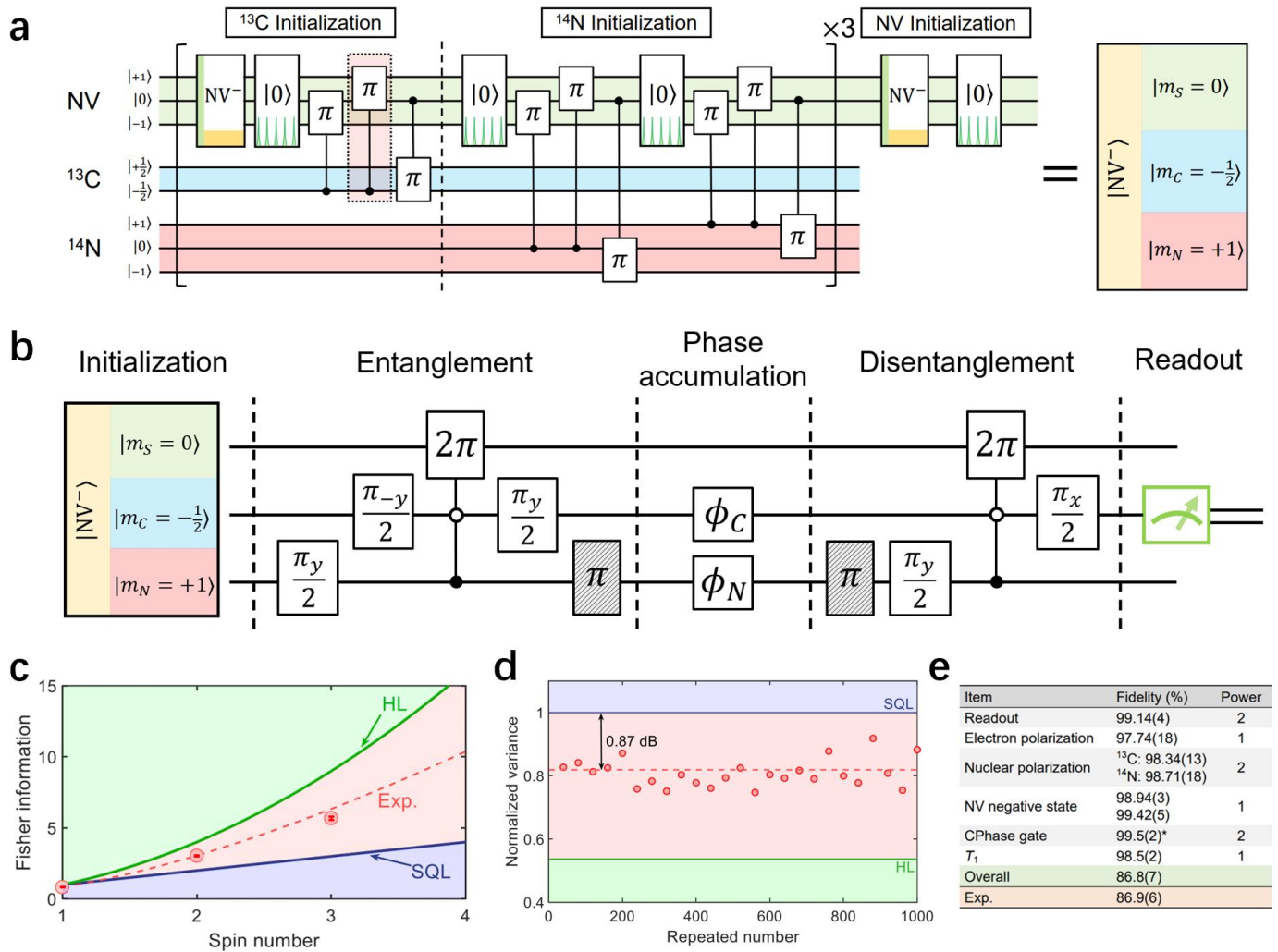


图：金刚石中的单个氮-空位色心示意图，图中展示了实验中使用的各类激光、微波、射频等调控手段。

一种近期发展起来的固态单自旋体系——金刚石中的氮-空位色心(NV色心)，得益于固态晶格的保护，其可以很好地工作在室温大气环境下。基于NV色心这种原子尺度的传感器，人们已实现单分子磁共振探测以及纳米尺度的磁成像等。然而，固态晶格在保护NV色心的同时，其本身相较于真空也是一种更复杂、混乱的环境。这使得确定性地制备自旋纯态、高保真度的自旋操控等都变得十分困难，因此尽管在该体系上有一些与标准量子极限相关的工作，但突破标准量子极限仍未实现。

为了突破标准量子极限，实验上需要同时在氮-空位色心的电荷态初始化、电子自旋初始化、核自旋初始化、微波射频脉冲操控和自旋测量等方面达到高保真度，具有很高的难度。本文研究团队综合发展了一系列技术，攻克了这一难题。在初始化方面，首次在室温下确定性地实现了NV电荷态、电子自旋态以及核自旋态的联合初始化；通过前选择反馈控制的方法，对电荷状态进行确定性的制备，将NV-比例从74.3%提高到99.42%；采用脉冲光极化的方法，将电子极化度从使用连续光照射下的90%提高到97.74%，该方法与电荷态初始化可同时兼容，可在几乎不破坏电荷态的情况下完成对电子自旋态的初始化。在量子操控方面，实验使用了形状脉冲的操控方法代替简单的方波脉冲，非局域门的保真度估值超过了0.99。在实验条件方面，实现了0.5mK的温度稳定性和1ppm的磁场稳定性。

基于以上技术，研究人员在基于NV色心的固态自旋体系中成功地突破了标准量子极限。其中，在真实噪声环境下，利用双量子比特和三量子比特对相位的测量，其灵敏度分别突破了标准量子极限1.79 dB和2.77 dB；利用双量子比特对真实磁场的测量，其灵敏度突破了标准量子极限0.87 dB。



图：(a) 电子自旋、核自旋和电荷态确定性联合初始化序列；(b) 进行纠缠干涉测量的量子线路图；(c) 量子费舍尔信息与量子比特数；(d) 对磁信号测量的涨落与重复次数的关系；(e) 双量子比特纠缠干涉中自旋态和电荷态初始化、自旋操控等各部分保真度。

这一工作所采用的技术有很多实际的应用，例如可以进一步提高单个NV色心的测磁灵敏度，基于单自旋初始化、操控、检测等各项技术的提升可使单个NV色心自旋的测磁灵敏度优于 $1\text{ nT}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。更高的灵敏度可以让我们更快速、更精细地对目标进行精密检测，这对NV色心在生命科学、凝聚态物理等领域的应用有重要推动作用，有助于新现象新规律的发现。该工作发展的技术可以很自然地推广到其它固态自旋体系，对于固态体系量子精密测量和量子计算的发展都具有基础性的推动作用。

中国科学院微观磁共振重点实验室博士后谢天宇和博士生赵致远为该文并列第一作者，杜江峰院士和石发展教授为论文的共同通讯作者。此项研究得到了国家自然科学基金委、科技部、中国科学院和安徽省的资助。

论文链接：<https://advances.sciencemag.org/content/7/32/eabg9204>

(中国科学院微观磁共振重点实验室、物理学院、合肥微尺度物质科学国家研究中心、中国科学院量子信息和量子科技创新研究院、科研部)

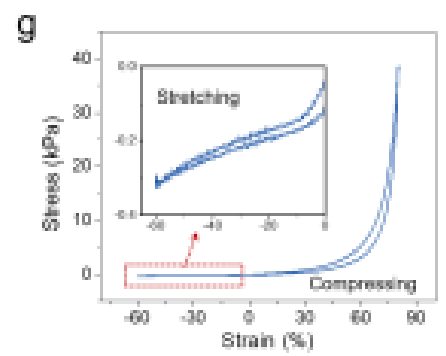
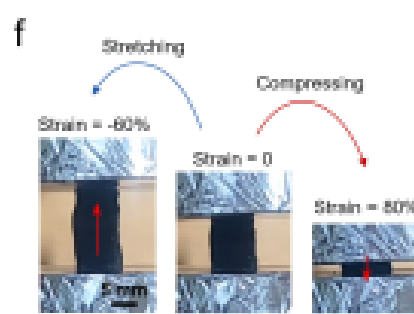
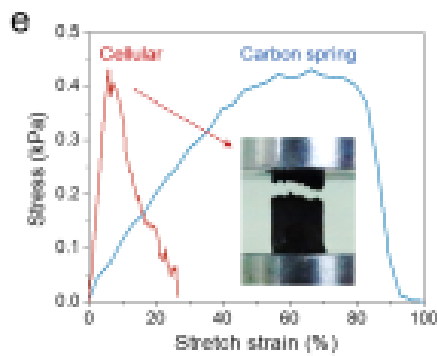
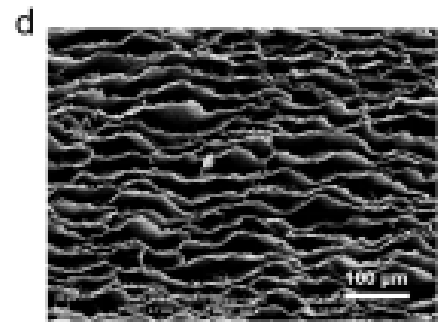
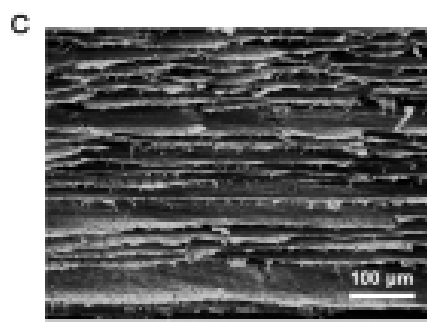
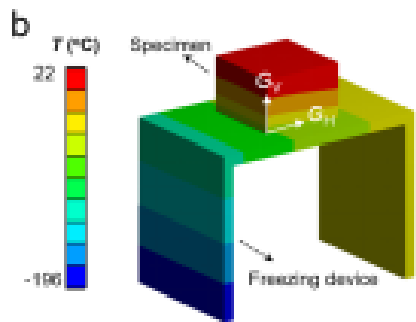
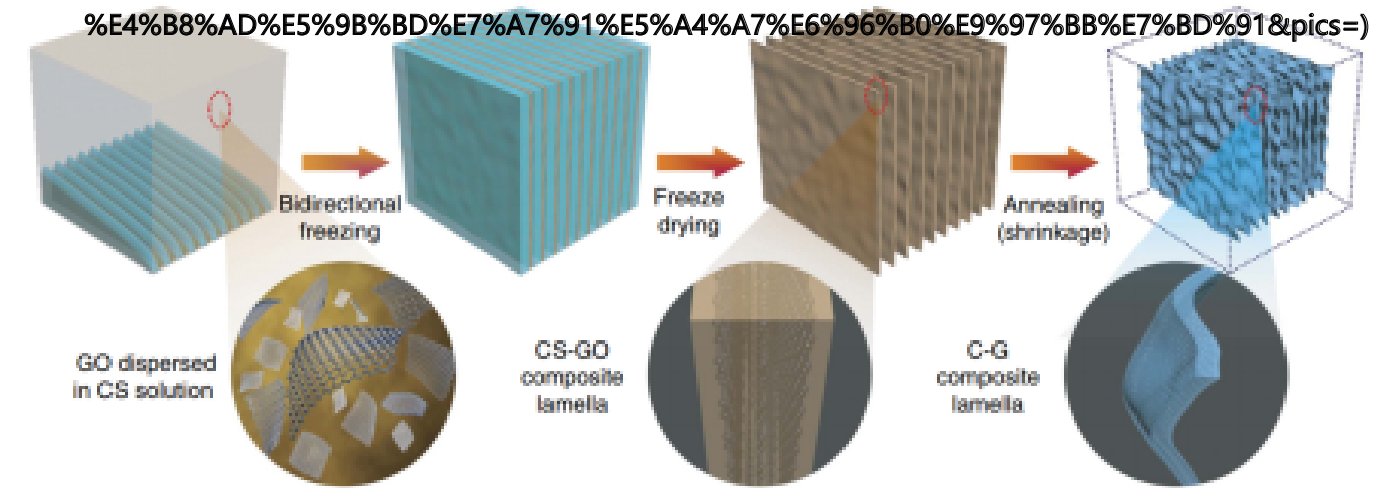
分享本文



([https://www.cqib.com/share.php?](https://www.cqib.com/share.php?shareid=32&sharecode=2F1055%2F76421.htm&title=%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E7%A7%91%E5%A4%A7%E6%96%B0%E9%97%BB%E7%BD%91&desc=%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E7%A7%91%E5%A4%A7%E6%96%B0%E9%97%BB%E7%BD%91)

url=https://www.cqib.com/share.php?shareid=32&sharecode=2F1055%2F76421.htm&title=%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E7%A7%91%E5%A4%A7%E6%96%B0%E9%97%BB%E7%BD%91&desc=%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E7%A7%91%E5%A4%A7%E6%96%B0%E9%97%BB%E7%BD%91

State%20Spins%E2%80%9D%E4%B8%BA%E9%A2%98%E5%8F%91%E8%A1%A8%E5%9C%A8%E8%BF%  
 State%20Spins%E2%80%9D%E4%B8%BA%E9%A2%98%E5%8F%91%E8%A1%A8%E5%9C%A8%E8%BF%  
 %E4%B8%AD%E5%9B%BD%E7%A7%91%E5%A4%A7%E6%96%B0%E9%97%BB%E7%BD%91&pics=)



(76453.htm)

中国科大研制仿生超弹性碳材料取得新进展 (76453.htm)

多孔碳材料因其广泛的应用，一直是材料科学领域的研究热点。机械柔韧性是决定其实际应用过程中结构稳定...

08.20 《信任》，是送给医师最好的礼物 (76450.htm)

08.20 中国科大附一院徐晓玲教授荣获“安徽省... (76449.htm)

08.20 中国科大科普作品入选中国科学院优秀科... (76448.htm)

08.19 中国科大在非线性偏微分方程领域取得重... (76447.htm)

(../index.htm)

Copyright 2007 - 2018 All Rights Reserved.

中国科学技术大学 版权所有

联系邮箱news@ustc.edu.cn (mailto:news@ustc.edu.cn)

主办：中国科学技术大学

承办：新闻中心

技术支持：网络信息中心