合肥研究院揭示聚变等离子体引起的金属表面起泡原理

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/2176.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！

近期，中国科学院合肥物质科学研究院固体物理研究所研究员刘长松课题组在聚变等离子体引起金属表面起泡的原理研究方面取得新进展，发现氢在金属中的自发偏聚行为，并提出一种新的氢致表面起泡机制。相关论文以Hydrogen bubble nucleation by self-clustering: Density Functional Theory and statistical models studies using tungsten as a model system为题发表在核聚变领域期刊Nuclear Fusion上(Nucl. Fusion58,096021(2018))。

氚作为核聚变反应的关键燃料之一，对可控核聚变的实现与商业化起着至关重要的作用。然而氚的半衰期只有十几年，几乎不存在于自然界当中;加上人工制备极其困难，一千克氚的价值上亿美元。因此聚变堆中通常利用聚变的产物中子与锂反应生成并增殖氚，在整个聚变过程中氚并不被净消耗，而是以类似于催化剂的形式被循环使用。不过氚的增殖效率有限，因此需要严格控制氚的回收过程，减少氚在回收回路之外的滞留，以维持氚的总量不降低。

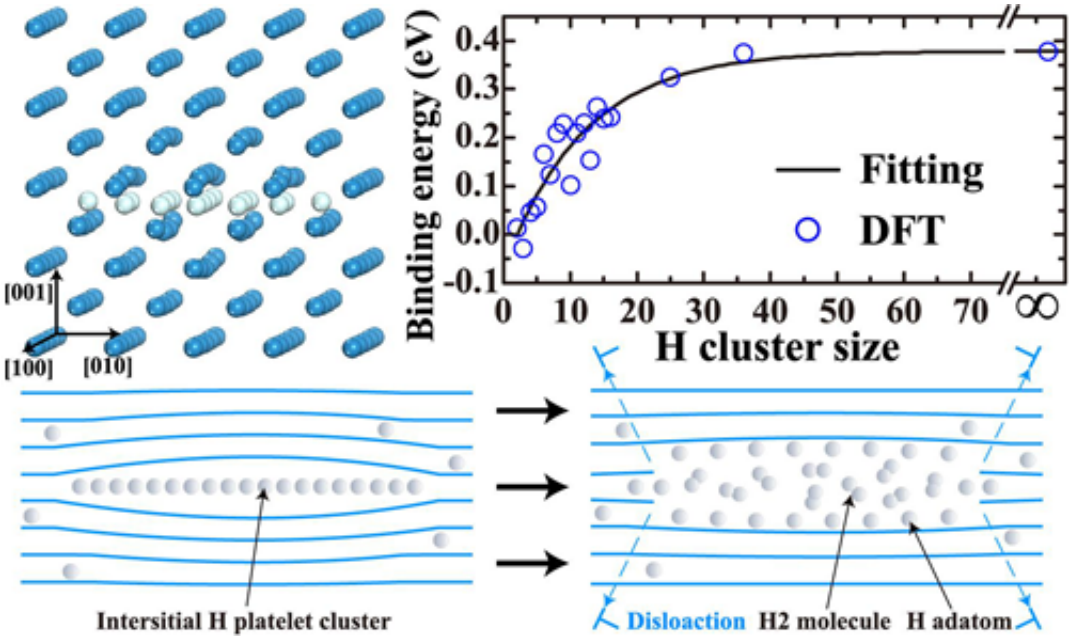
聚变反应堆中直接包裹氘氚等离子体的材料(也称面向等离子体材料)，往往容易对氚滞留产生较大影响。大量的实验研究发现，以金属钨为代表的面向等离子体材料，在接触聚变堆中的氢同位素等离子体时，金属的表面会长出氢气泡，导致金属表面发生鼓起甚至脱落，不仅损伤金属材料的结构，降低聚变堆中关键的热能传递效率，也极大地增加氚滞留量，影响聚变堆的持续运行。

然而，金属中氢气泡产生的原理仍不清晰。众所周知，聚变堆中氢等离子体辐照的能量并不高，其动能不足以将金属原子撞开而产生孔洞等辐照缺陷让氢聚集。而现有的实验手段精度有限，难以对氢的聚集过程进行直接观察。

为了揭示氢泡形核的谜团，刘长松课题组研究人员基于第一性原理，对氢在金属中的偏聚行为开展了系统的理论计算研究。研究发现，在聚变堆中的高通量氢辐照环境下，金属中会积累起高浓度的氢，氢能自发地偏聚形成一种二维片层状的氢团簇，使得不依赖辐照缺陷也能完成氢气泡的初始形核。基于计算得到的氢偏聚结合能，研究人员通过进一步的宏观热力学分析，对聚变环境下金属表面起泡所需的氢等离子体能量以及通量给出了定量的预测，发现预测结果与相关的氢等离子体实验数据高度吻合，也验证了该理论的正确性。

相关研究揭示了氢在金属中自发偏聚行为的物理机理，为聚变堆中低能、高通量氢同位素辐照引发的表面起泡现象提供了定量的解释和预测，能够对面向等离子体材料的设计提供有效的理论指导。

该工作得到国家自然科学基金、国家磁约束核聚变专项、国家留学基金委的支持。



氢在金属(钨)中自发偏聚产生的片层状团簇和自发偏聚结合能，以及氢自发偏聚诱发的氢泡形核过程示意图

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