



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Manipulation of superconductivity in van der Waals materials and thin films

Chen, X.

Citation

Chen, X. (2024, July 2). *Manipulation of superconductivity in van der Waals materials and thin films*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3768509>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3768509>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

总结

超导性是指物质的一种相，在这种相中，电荷载体可以在不损耗能量的情况下移动。在这种特殊的相中，与完美的金属导体不同，任何外部磁力线都会被材料排斥。自从1911年在莱顿首次发现以来，这一现象一直是基础科学研究和技术应用的关注焦点。

最近在纳米工程、制造和表征方面的快速进展使得二维器件相对容易地通过自顶向下或和自底向上方法在实验室中实现。范德瓦尔斯材料和薄膜现在可以被良好地控制和复制。这不仅为研究二维清洁超导性铺平了道路。纳米技术的进步结合固体物理学中对超导性质的理解和探索，还使得对物质的超导性质有了更多的控制。本篇论文研究主题是拟通过精设计器件，探讨如何对传统声子介导的超导体进行操控。

在本论文中报道的研究包括通过自顶向下剥离范德瓦尔斯超导体晶体来实现清洁的二维超导性；理解范德瓦尔斯异质结约瑟夫森结面上的临界电流磁振荡；通过控制氧化提高薄膜超导体的临界电流密度。同时，通过操纵材料的超周期势提高超导体的临界温度。下面详细总结每章的主要发现。

第3章和**第4章**探讨了一个内在的二维超导体 2H-NbSe_2 。在**第3章**中，重点是采用金辅助的机械剥离方法对这种范德瓦尔斯材料进行研究。研究的目标是研究在大面积，干净的二维超导体中程相干和潜在的等离子介导的超导性。我们成功地制备了大面积（最大直径为 $2.4\text{毫米} \pm 0.1\text{毫米}$ ）的单层 NbSe_2 薄。不幸的是，对于温度降至 1.5K 的单层器件，没有观察到超导转变的明确证据。可能这个温度不足以在单层极限处引发转变。然而，对底层金层的潜在强超导接近效应可能会造成库珀对的耗尽，从而破坏超导性。此外，我们还关注了金属层的粗糙度，并认为其是缺乏超导转变的另一个潜在原因。

第4章描述了一个简单的模型，用于理解异质约瑟夫森结面中磁场中的扭曲夫琅禾费样式的超导临界电流干涉图案。我们研究了由两个堆叠在一起的 2H-NbSe_2 块体超导薄制成的结的临界电流的磁场依赖性。我们发现测量的干涉图案不仅取决于结的类型，还取决于磁场方向和结的界面何形状。我们将这归因于异质结通常沿磁场方向具有不均匀的宽度。所得的干涉图案可以采用我们简单数学模型来计算。我们的计算与实验数据常吻合。一个重要的发现是，完全一致的，干

净的结的干涉图案可能呈现高斯状，这通常被归因于扩散性约瑟夫森结。

第5章，我们将焦点转移到了薄膜超导体：NbRe。在这里，我们测量到了在8纳米NbRe微带中的流量不稳定速度。我们讨论了磁场强度变化前后流量不稳定速度的值和行为。我们提出了一种可能的机制来解释速度的下降和依赖性的变化；即通过磁畴壁来固定通量，磁畴壁导致超导性质由于局部氧化过程而不连续。我们进行了玩具模型的时间相关的金兹堡-朗道模拟来支持我们的理论。我们预期类似的效应也会出现在其他空气敏感的多晶薄膜超导体上。

第6章，我们研究了独特类型的工超导体，即扭曲双层石墨烯（在魔度角）。我们使用了一种常不同的实验技术——低能电子显微镜（LEEM），以探索扭曲双层石墨烯的丰富物理学特性。在本章中，我们还着力为LEEM研究量身定制的制备方法。这种快速方法在表面上产了不均匀的器件，为在一个样品中的一次连续测量中研究多个莫尔莱晶格的多个波提供了平台。通过LEEM中莫尔莱图案的实时明场成像，我们发现高温(600°C)退对器件的扭曲角度没有影响，即它是一种用于后期清洁的有效方法。此外，我们认为原子力显微镜（AFM）是LEEM中用于识别不同表面特征的一种补充技术。

第7章和**第8章**，我们探讨了设计材料在超导体中的潜在作用。**第7章**，是关于电子带折叠对超导体的影响的实验研究。我们通过50纳米厚的MgB₂薄膜中施加超周期势来探索这一点。通过用镱聚焦离子束（FIB）刻蚀器件表面大约100纳米周期的周期性图案来实现。根据理论预测，一个主要的超周期势会增加由于其电子带的折叠和带隙的开启，而导致电声耦合的相空间，这也将导致临界温度的增加。然而，我们在我们的电荷传输测量中没有观察到这一点的证据。在定量分析我们的数据后，我们确实发现了可能迹象，表明周期性图案可能具有潜在的好处，特别是在克服FIB损伤方面。我们还针对超周期势的可能未来发展方向进行了详细的展望，希望在这方面进一步推进。

第8章，我们继续探索了一种另类的超周期结构，即在石墨烯上放置分子网络。我们选择了自组装的分子（Co-TCPP）网络来提供周期性势。我们对单层石墨烯器件进行了门极和温度依赖的电荷传输测量，在分子沉积之前和之后进行了测量。尽管收集到的数据有很大的差异，但我们没有发现超周期势对石墨烯电子带的显著影响的证据。我们的传输测量表明，在分子沉积后，器件是高度不稳定的。原子力显微镜研究证实了这一点，在表面上我们没有发现密排的分子网络。我们建议进一步研究这些分子的空气敏感性。