**标题：**基于压电阵列的可编程应变控制二维材料单光子发射

**简介：**

二维半导体过渡金属二硫属化物为光电和光子应用提供了多种优势。它们具有多种特性，例如薄化至单层时的直接带隙、由于面外维度降低而产生的量子限制、大振荡器强度和量子效率、用于量子自旋电子学和自旋的具有定义自旋的光控电子注入光子界面。与传统半导体相比,二维材料的另一个主要优势是其令人印象深刻的“可拉伸性”，因为它们可以承受较高的应变幅度。这为弹性应变工程提供了一个广阔的舞台，因为通过直接弯曲或使用压电致动器外部施加应变提供了一种定制材料的电子和光学特性的自然策略。

原子薄半导体中单光子源的出现为灵活和超紧凑量子技术的发展带来了巨大的希望，其中弹性应变工程可用于定制其发射特性。二维材料中单光子发射 (SPE) 的发现激发了深入的研究工作，旨在利用此类源进行量子光子学并了解其物理起源。SPE 的起源归因于晶体中存在缺陷晶体结构或由于材料本身的局部弯曲而导致材料的带隙调制，这自然发生在气泡或皱纹上。尽管取得了这些重大进展，二维材料中的量子发射器仍以随机能量传输光子，由于最终导致激子限制的电势分布或缺陷性质的复杂性，这种光子的发射位置和能量很难控制。反过来，这严重限制了2D SPE在量子信息科学和技术中应用的适用性。

本课题旨在通过压电材料阵列编程控制顶部二维材料的应变分布，结合现有的应变与单光子发射研究，实现二维材料中的可调控单光子发射。目前已有很多工作研究了原子薄半导体中单光子发射与所在材料应变的关系，并证实了单光子发射来源于光学暗激子与点状缺陷的应变诱导共振杂交。虽然缺陷能量与应变无关，但暗激子能量遵循带隙的局部变化，并与总面内应变的某些值处的缺陷能量相匹配，从而导致可能的光子发射事件。压电材料阵列通过改变输入电压即可实现对上层二维材料的确定性应变调控，这让确定性的2D SPE成为可能。

本研究将通过以下步骤展开：

压电材料阵列设计：以控制上层材料应变为目的，设计无电场时压电材料的重复阵列与参数，调整阵列间距、厚度、材料等参数，以优化应变控制效果并确定最优的阵列布局。

电路链接与电场模拟：构建一个可精确控制压电单元的电路系统，在最大降低导线对材料内电场影响的同时满足电压输入，为二维材料提供可编程的应变控制能力。

模拟修正阵列参数：加入电压后压电阵列形变，通过对不同应变的需求调整优化模型各类参数，实现在二维材料上可编程的应变分布，同时保留缺陷的单光子发射特性。

本课题不仅为实现二维材料中单光子发射的精确调控提供新的视角，同时也为压电阵列在应变工程和量子光子学中的应用提供新的思路。该研究有望加深我们对应变调控量子发射机制的理解，并为开发高效、可控的单光子源应用于量子信息处理和量子通信提供新设想。

**方向：**

研究学科：

1.量子光学（Qantum optics）：

研究涉及固体物理、光学和量子力学，特别是在二维材料和量子发射方面的基础研究。

2.材料科学（Material science）：

重点研究二维材料（如过渡金属二硫族化合物）的结构和性能，探索其在纳米尺度下的电子和光学特性。

3.工程力学（Mechanical engineering）：

包括压电设备的设计和应用，利用机械应变调控材料的物理特性。

研究方向：

单光子源的开发与调控：利用应变技术在二维材料中实现单光子发射器的调节，以应用于量子信息处理和量子通信领域​。

应变调控二维材料的光学性能：通过压电设备施加应变，研究应变如何影响二维材料中的激子和单光子发射器的发射能量和光子纯度​

局部结构对发光特性的影响：研究二维材料中的局部应变（如皱纹和气泡）如何影响其光致发光性能，并利用有限元模拟解释不同位置的应变场分布​

量子光子学设备的集成与应用：探索二维材料单光子发射器与光学谐振腔及芯片集成光子电路的结合，推动量子光子学器件的小型化和可控性。

**安排：**

第一阶段：文献调研与理论框架建立（1个月）

收集二维材料单光子发射和应变调控相关的文献，深入了解单光子发射的物理机制、压电阵列的应用和应变工程的基本原理，构建理论框架并确定研究方向。

第二阶段：模型设计与电路搭建（1个月）

基于理论调研结果，设计能够施加不同应变分布的压电阵列模型。使用有限元模拟软件构建二维材料上的应变分布模型，并验证其合理性。

第三阶段：模型优化与参数约束（2个月）

针对不同的输入条件和压电阵列设计，模拟上层二维材料的应变分布。根据理论模型分析单光子发射随应变变化的规律，优化模型参数，确保应变调控的稳定性和可调性。

第四阶段：总结与论文撰写（1个月）

总结研究的主要发现和贡献，整理并准备相关的实验数据和图表。撰写论文，包括引言、方法、结果和讨论，归纳出本研究在量子光子学应用中的潜在影响。

**文献：**