1. **简述拓扑绝缘体基本概念**

形成拓扑绝缘体需要材料具有较强的自旋轨道耦合(SOC), 并且能够代开体态的能带形成带隙。所以，拓扑绝缘体由普通绝缘体的体态(具有价带、导带、能隙)和拓扑表面态(无能隙的线性色散关系)组成。拓扑表面态中线性色散关系是自旋解简并的，意味着在K空间表现为自旋动量锁定(SML)，在实空间表现为具有特定自旋方向的电子只能沿着特定方向运动。理想情况下，拓扑绝缘体体态完全绝缘，电子只能在表面运动且遵守SML。另外，拓扑表面态导电完全由材料体能带的性质所决定，受到粒子数守恒和时间反演对称性保护，因此不像普通材料那样易于被缺陷和无序所破坏。

**2. 分别简述量子霍尔效应、量子自旋霍尔效应、量子反常霍尔效应的基本概念。**

**量子霍尔效应：**首先，量子霍尔效应需要在低温强磁场、并且材料体系需要具有一定的无序度。考虑，准自由二位电子气情况下外加磁场形成朗道能级由于无序度的存在使得朗道能级展宽形成朗道能带，强磁场使得朗道能级简带隙增大，低温可以抑制热效应，所以在低温强磁场下有利于排除热效应影响。通过改变费米能级与朗道能级相对位置，当某一朗道能带被完全占满此时进入无耗散系统(改变费米能级造成的朗道能级简并度改变的部分由无序杂质局域)电子被磁场局域，由于电子局域化的运动在边界被破坏，因此只在边界处形成导电通道。当系统进入无耗散态，外加Y方向电场(磁场沿着Z方向)电子沿着X方向运动，因此纵向电导为0，考虑到朗道能带展宽所以霍尔电导出现量子化平台。以上，是对量子霍尔效应的半经典解释。

结合之前的解释，可以总结有关量子霍尔效应的一些有趣的结论：量子化霍尔电导受到拓扑保护，这种量子化电阻平台不容易被外界干扰所影响，它能非常精确地保持它的量子化平台值：=，对处于量子霍尔态的系统，在材料的边界上会形成一些贯穿能隙的具有手征性的边界态，这些边界态只包含向一个方向运动的状态而完全没有反向运动的电子态，因而边界态中的电子完全没有“背散射”通道，是不受杂质散射影响的理想导体。

**量子自旋霍尔效应：**首先，基于量子霍尔效应半经典解释理解量子自旋霍尔效应。形成量子自旋霍尔效应需要强SOC作用，SOC作用相当于等效磁场，对于不同自旋方向电子SOC产生等效场方向不同。当SOC等效场足够强分别使得两种自旋电子进入量子霍尔态。由于，两种自旋电子受到等效磁场方向不同，所以在边界处显示出手性。量子自旋霍尔效应又称二维拓扑绝缘体，因此它具有问题1中提到的拓扑绝缘体的性质。

**量子反常霍尔效应：**在不加外磁场时，在磁性材料中产生量子霍尔效应。自发磁化与SOC共同作用产生拓扑非平庸的电子能带结构，使得其在无磁场条件下产生量子霍尔效应。拓扑绝缘体具有强自旋轨道耦合，通过磁性掺杂获得自发磁化，所以可以在磁性掺杂拓扑绝缘体中发现量子反常霍尔效应。

**3. 分别简述二维拓扑绝缘体和三维拓扑绝缘体的发现及验证工作**

**二维拓扑绝缘体：**最初，Kane预测在石墨烯中预测存在量子自旋霍尔效应(即二维拓扑绝缘体)，张首晟预测在HgTe/GdTe 超晶格中存在量子自旋霍尔效应。之后，Molenkamp group在2007年做出了实验验证工作，首次实验验证HgTe/GdTe 超晶格中存在量子自旋霍尔效应。之后，杜瑞瑞研究组在InAs/GaTe体系中实验发现量子自旋霍尔效应。最近，理论预测单层WTe2为二维拓扑绝缘体。Xu xiaodong组通过输运手段以及shen zhixun组通过apers实验验证WTe2为二维拓扑绝缘体。

**三维拓扑绝缘体：**2008年，傅亮和Kane提出了，-Sn和压力的HgTe作为三维强化拓扑绝缘体，这被认为是第一代三维拓扑绝缘体。2008年，Hasan group利用ARPES观测到了的拓扑表面态。2009年，Hasan group 利用自旋分辨的ARPES研究了的拓扑表面态中的自旋性质。之后，方忠组理论预测Bi2Se3、Bi2Te3为三维拓扑绝缘体，并且之后得到Hasan group和shen zhixun group的arpes实验验证。

**4．简述拓扑绝缘体样品制备和表征的基本实验手段。**

**制备手段：**体材料制备：真空炉、管式炉、箱式炉子；薄膜制备：分子束外延(MBE)、化学气相沉积、物理气相沉积；纳米结构制备：水热合成、电镀法、化学气相沉积。

**表征手段：**可以通过输运测试，测得量子化霍尔电导平台；可以通过角分辨光电子能谱得到能带结构。可以通过STM、XRD、高分辨透射电子显微镜表征样品生长质量。

**5. 简述三个拓扑绝缘体的重要现象（除了前四题提到的现象）。**

**SdH振荡**：晶体的磁电阻随着的增加而周期性的振荡。

**弱局域化和弱反局域化**：弱局域化就是负磁阻在零磁场下达到最大值；弱反局域化就是正磁阻在零磁场处达到最小值。

**电子电子相互作用：**最初，理论对拓扑绝缘体的解释都没有考虑电子间相互作用；后续，实验发现在低温下电导与ln(T)线性关系符合电子电子相互作用结果。

**AB效应**：电磁场的矢势有直接的可观测的物理效应，即磁通与磁场成正比。