

薄膜沉积设备 CVD 和 PVD 对比分析

2022 年 10 月 16 日

➤ **本周关注：欧科亿、杭叉集团、四方达、奥特维**

➤ **本周核心观点：当前人形机器人、新能源行业新技术、新工艺层出不穷，需关注技术变化带来的设备需求。**

➤ **薄膜沉积技术是半导体、光伏等行业发展的必不可少关键工艺。**薄膜沉积技术是指将在真空下用各种方法获得的气相原子或分子在基体材料表面沉积以获得离层被膜的技术。它既适合于制备超硬、耐蚀、耐热、抗氧化的机械薄膜，又适合于制备磁记录、信息存储、光敏、热敏、超导、光电转换等功能薄膜；此外，还可用于制备装饰性镀膜。近 20 年来，薄膜沉积技术得到了飞速发展，现已被广泛应用于机械、电子、装饰等领域。薄膜沉积技术根据成膜机理的不同，主要分为物理、化学、外延三大工艺。

➤ **CVD 设备种类繁多，当前 PECVD 为主流技术，未来市占率有望进一步提升。**CVD 是指利用气态或蒸汽态的物质在气相或气固界面上发生反应生成固态沉积物的过程，是近几十年发展起来的制备无机材料的新技术。化学气相沉积法已经广泛用于提纯物质、研制新晶体、淀积各种单晶、多晶或玻璃态无机薄膜材料。这些材料可以是氧化物、硫化物、氮化物、碳化物，也可以是 III-V、II-IV、IV-VI 族中的二元或多元的元素间化合物，而且它们的物理功能可以通过气相掺杂的淀积过程精确控制。CVD 镀膜重复性和台阶覆盖性较好，可用于 SiO₂、Si₃N₄、PSG、BPSG、TEOS 等介质薄膜，以及半导体、金属 (W)、各类金属有机化合物薄膜沉积。CVD 种类繁多，根据腔室压力、外部能量等不同，可大致分为 APCVD、LPCVD、SACVD、PECVD、MOCVD 等类别。CVD 设备反应源容易获得、镀膜成分多样、设备相对简单、特别适用于在形状复杂的零件表面和内孔镀膜。

➤ **PVD 设备沉积速度快、沉积温度低、物理手段对环境友好、更适应硬质合金精密复杂刀具的涂层。**PVD 是指在真空条件下利用高温蒸发或高能粒子等物理方法轰击靶材，使靶材表面原子“蒸发”并沉积在衬底表面，沉积速率高，一般适用于各类金属、非金属、化合物膜层的平面沉积。按照沉积时物理机制的差别，物理气相沉积一般分为真空蒸发镀膜技术、真空溅射镀膜、离子镀膜和分子束外延等。近年来，薄膜技术和薄膜材料的发展突飞猛进、成果显著，在原有基础上，相继出现了离子束增强沉积技术、电火花沉积技术、电子束物理气相沉积技术和多层喷射沉积技术等。

➤ **半导体制程精进&光伏新技术推进，国产薄膜沉积设备迎来发展契机。**观研报告网数据显示，全球薄膜沉积设备市场规模将从 2019 年的 155 亿美元增长到 2025 年的 340 亿美元，2019-2025 年预计复合增长率近 14%。根据观研报告网 2019 年数据显示，PECVD 设备在总设备中市占率最高为 33%、溅射 PVD 为 19%、ALD 和管式 CVD 均为 11%；SACVD 是较新兴的设备类型，属其他薄膜沉积设备类目下，占比较小。整体而言，PECVD 正成为化学气相沉积的主流技术，未来市占率水平有望进一步提升。

➤ **投资建议：**建议关注在薄膜沉积设备上布局的先进设备厂商**迈为股份、东威科技、拓荆科技等**。

➤ **风险提示：**全球光伏新增装机规模不及预期，HJT、TOPcon 等新型光伏技术推进不及预期，半导体行业资本开支下滑风险，薄膜沉积设备国产化不及预期等。

推荐

维持评级



分析师 李哲

执业证书：S0100521110006

电话：13681805643

邮箱：lizhe_yj@mszq.com

分析师 占豪

执业证书：S0100522090007

电话：15216676817

邮箱：zhanhao@mszq.com

目录

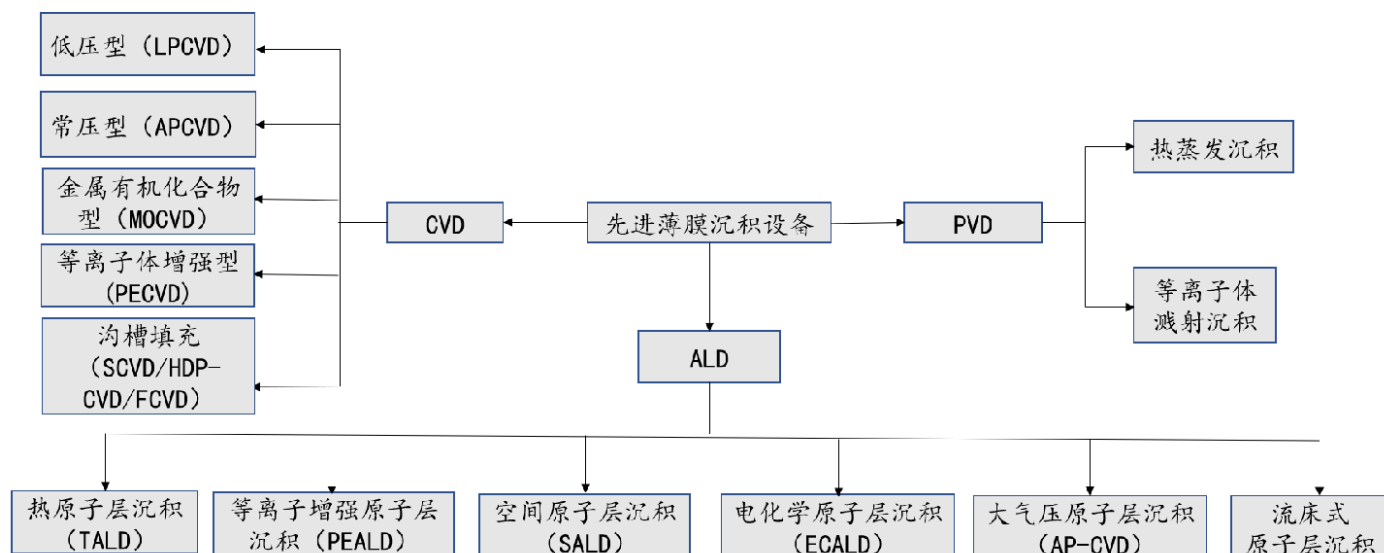
1 化学气相沉积 (CVD)	3
1.1 CVD 设备种类及其特点	4
1.2 CVD 设备主要应用领域	8
2 物理气相沉积 (PVD)	9
2.1 PVD 设备种类及特点	9
2.2 PVD 设备主要应用领域	11
3 CVD 和 PVD 设备对比分析	12
4 薄膜沉积设备市场空间和主要厂商	13
5 风险提示	14
插图目录	15
表格目录	15

薄膜沉积技术是指将在真空下用各种方法获得的气相原子或分子在基体材料表面沉积以获得离层被膜的技术。它既适合于制备超硬、耐蚀、耐热、抗氧化的机械薄膜，又适合于制备磁记录，信息存储、光敏、热敏、超导、光电转换等功能薄膜；此外，还可用于制备装饰性镀膜。近 20 年来，薄膜沉积技术得到了飞速发展，现已被广泛应用于机械、电子、装饰等领域。

薄膜沉积技术根据成膜机理的不同，主要分为物理、化学、外延三大工艺。

①物理气相沉积：利用热蒸发或受到粒子轰击时物质表面原子的溅射等物理过程，实现物质原子从源物质到衬底材料表面的转移；②化学气相沉积：通过混合化学气体发生化学反应，在衬底表面沉积薄膜，较 PVD 台阶覆盖率更好、沉积温度更低、薄膜成分和厚度更容易控制；③外延工艺：在晶片等单晶衬底上按照单晶衬底晶向生长单晶薄膜的工艺过程。

图1：薄膜沉积技术分类



资料来源：微纳纳米招股说明书，民生证券研究院

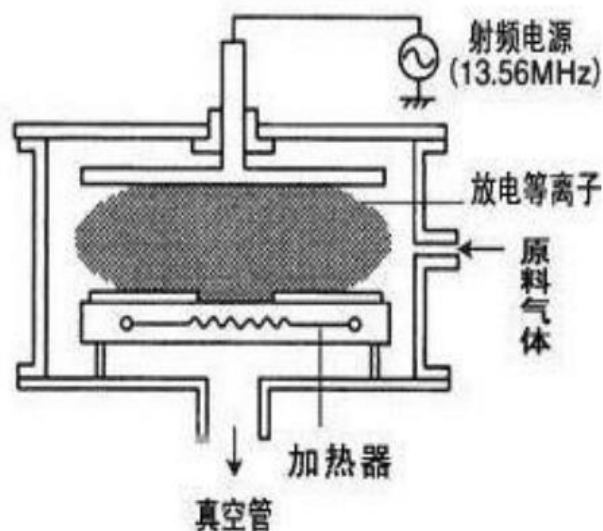
1 化学气相沉积 (CVD)

化学气相沉积(Chemical Vapor Deposition 简称 CVD) 是利用气态或蒸汽态的物质在气相或气固界面上发生反应生成固态沉积物的过程。化学气相沉积是近几十年发展起来的制备无机材料的新技术。化学气相沉积法已经广泛用于提纯物质、研制新晶体、沉积各种单晶、多晶或玻璃态无机薄膜材料。这些材料可以是氧化物、硫化物、氮化物、碳化物，也可以是 III-V、II-IV、IV-VI 族中的二元或多元的元素间化合物，而且它们的物理功能可以通过气相掺杂的沉积过程精确控制。

化学气相沉积过程分为三个重要阶段：反应气体向基体表面扩散、反应气体

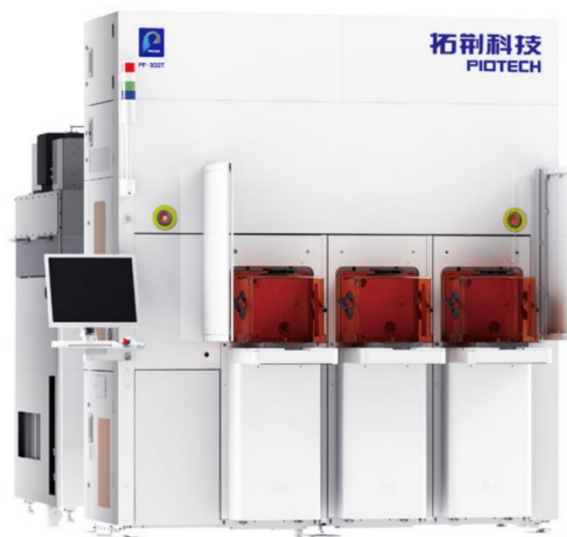
吸附于基体表面、在基体表面上发生化学反应形成固态沉积物及产生的气相副产物脱离基体表面。最常见的化学气相沉积反应有:热分解反应、化学合成反应和化学传输反应等。

图2: PECVD 原理示意图



资料来源: 贤聚网, 民生证券研究院

图3: 拓荆科技 PECVD 设备



资料来源: 拓荆科技官网, 民生证券研究院

化学气相沉积 (CVD) 特点:

(1) 沉积物种类多: 可以沉积金属薄膜、非金属薄膜, 也可以按要求制备多组分合金的薄膜, 以及陶瓷或化合物层; (2) CVD 反应在常压或低真空进行, 镀膜的绕射性好, 对于形状复杂的表面或工件的深孔、细孔都能均匀镀覆; (3) 能得到纯度高、致密性好、残余应力小、结晶良好的薄膜镀层; (4) 由于薄膜生长的温度比膜材料的熔点低得多, 由此可以得到纯度高、结晶完全的膜层, 这是有些半导体膜层所必须的; (5) 利用调节沉积的参数, 可以有效地控制覆层的化学成分、形貌、晶体结构和晶粒度等; (6) 设备简单、操作维修方便; (7) 反应温度太高, 一般要 850-1100℃下进行, 许多基体材料都耐受不住 CVD 的高温。采用等离子或激光辅助技术可以降低沉积温度。

1.1 CVD 设备种类及其特点

化学气相沉积的方法很多, 如常压化学气相沉积(APCVD)、低压化学气相沉积(LPCVD)、超高真空化学气相沉积(UHVCVD)、激光诱导化学气相沉积(LCVD)、金属有机物化学气相沉积(MOCVD), 等离子体化学气相沉积 (PECVD) 等。

1、低压化学气相沉积 (Low pressure CVD, LPCVD)

低压化学气相沉积法(LPCVD)的设计就是将反应气体在反应器内进行沉积反

应时的操作压力，降低到大约 133Pa 以下的一种 CVD 反应。

LPCVD 设备特点：LPCVD 低压高热环境提高了反应室内气体扩散系数和平均自由程，极大提高了薄膜均匀性、电阻率均匀性和沟槽覆盖填充能力。另外低压环境下气体物质传输速率较快，衬底扩散出的杂质和反应副产物可迅速通过边界层被带出反应区，反应气体则可迅速通过边界层到达衬底表面进行反应，因此在有效抑制自掺杂的同时还可提高生产效率。再者 LPCVD 并不需要载子气体，因此大大降低了颗粒污染源，被广泛地应用在高附加价值的半导体产业中，用作薄膜的沉积。

LPCVD 设备新的研发方向：低应力、多功能。对于很多微机械加工的常用材料，如氮化硅、多晶硅等，应力是不可避免的，在一些精密的 MEMS 工艺中需要较低的薄膜应力，以保证较小的器件形变。

(1) 通过独特的气路、腔体结构设计，配合相应的工艺配方，成功实现了薄膜应力在较大范围内可控制，解决了由于薄膜应力存在，引起的变形、光学和力学性能改变的问题。

(2) 满足客户对 TEOS 低压热解法工艺需求，对不同成膜速率多晶硅工艺需求并保证成膜均匀性和硅片翘曲度要求。

(3) 多功能 LPCVD 设备与传统方式对比具有独特的技术，包括良好的薄膜工艺均匀性和重复性、独特的过滤系统保证腔室和器件具有良好的洁净度并易于维护、先进的颗粒控制技术、高精度温度场控制及良好的温度重复性、完整的工厂自动化接口、高速的数据采集算法等，同时具有丰富行业经验和成熟的配套工艺可满足客户对高端 LPCVD 设备需求。

主要出售的厂商国内有合肥科晶、Tokyo Electron、北方华创等。

2、等离子体化学气相沉积 (Plasma enhanced CVD, PECVD)

PECVD 是在等离子体过程中，气态前驱物在等离子体作用下发生离子化，形成激发态的活性基团，这些活性基团通过扩散到达衬底表面，进而发生化学反应，完成薄膜生长。

PECVD 设备的性能指标主要包括：生长薄膜的均匀性，致密性，以及设备产能。要保证生长薄膜的质量，除了要保证设备的稳定性外，还必须掌握和精通其工艺原理及影响薄膜质量的各种因素，影响 PECVD 工艺质量的因素主要有以下几个方面：(1) **极板间距和反应室尺寸。**起辉电压：间距的选择应使起辉电压尽量低，以降低等离子电位，减少对衬底的损伤。极板间距和腔体气压：极板间距较大时，对衬底的损伤较小，但间距不宜过大，否则会加重电场的边缘效应，影响淀积的均匀性。反应腔体的尺寸可以增加生产率，但是也会对厚度的均匀性产生影响。(2) **射频电源的工作频率。**射频 PECVD 通常采用 50kHz-13.56MHz 频段射频电源，频率高，等离子体中离子的轰击作用强，淀积的薄膜更加致密，但

对衬底的损伤也比较大。高频淀积的薄膜，其均匀性明显好于低频，这时因为当射频电源频率较低时，靠近极板边缘的电场较弱，其淀积速度会低于极板中心区域，而频率高时则边缘和中心区域的差别会变小。 **(3) 射频功率。**射频的功率越大离子的轰击能量就越大，有利于淀积膜质量的改善。因为功率的增加会增强气体中自由基的浓度，使淀积速率随功率直线上升，当功率增加到一定程度，反应气体完全电离，自由基达到饱和，淀积速率则趋于稳定。 **(4) 气压。**形成等离子体时，气体压力过大，单位内的反应气体增加，因此速率增大，但同时气压过高，平均自由程减少，不利于淀积膜对台阶的覆盖。气压太低会影响薄膜的淀积机理，导致薄膜的致密度下降，容易形成针状缺陷；气压过高时，等离子体的聚合反应明显增强，导致生长网络规则度下降，缺陷也会增加。 **(5) 衬底温度。**衬底温度对薄膜质量的影响主要在于局域态密度、电子迁移率以及膜的光学性能，衬底温度的提高有利于薄膜表面悬挂键的补偿，使薄膜的缺陷密度下降。衬底温度对淀积速率的影响小，但对薄膜的质量影响很大。温度越高，淀积膜的致密性越大，高温增强了表面反应，改善了膜的成分。

高产能管式 PECVD 市场需求强劲。晶硅电池市场上对高产能管式 PECVD 设备的需求量巨大且迫切，高产能管式 PECVD 顺势产生。它即将为晶硅电池制造商降低综合成本起到重要作用，为晶硅电池太阳能电池的更快发展创造更大的内生动力。

高产能管式 PECVD 设备，单台设备可容纳 5 个工艺管，单管产能已达到 400 片，几乎不需增加工艺时间，能适用于 156-162mm 规格的硅片，单台产能可满足 110MW 以上的生产线，成膜均匀性良好。

主要出售的厂商有 Oxford Instruments（牛津仪器）、Lam research（柯林研发）、Applied Materials（应用材料）、北方华创、沈阳拓荆等。

3、原子层化学气相沉积（ALCVD）

ALD 是一种可以将物质以单原子膜形式一层一层的镀在基底表面的方法。原子层沉积与普通的化学沉积有相似之处。但在原子层沉积过程中，新一层原子膜的化学反应是直接与之前一层相关联的，这种方式使每次反应只沉积一层原子。

原子层化学气相沉积的自限制性和互补性致使该技术对薄膜的成份和厚度具有出色的控制能力，所制备的薄膜保形性好、纯度高且均匀。成膜影响因素有：

(1) ALD 过程通常存在初始沉积和后续生长两个不同的沉积阶段，薄膜的生长模式分别表现为岛状生长和层状生长，其中初始沉积阶段对薄膜形态有着不可忽略的影响。(2) **改变工艺条件结果表明薄膜的粗糙度受前驱体温度、反应室真空度、基片温度等多种因素的影响**。其中基片温度对初始沉积时间和生长速率的影响最为显著。在温度窗口内，基片温度越低，薄膜生长越缓慢，初始沉积时间越长，表面粗糙度增加；随着基片温度的升高，初始沉积过程越短暂，薄膜很快封闭，

温度越高，生长速率越趋近于单分子层循环，表面粗糙度也越小。

主要出售的厂商有 First Nano（德国韦氏纳米）、Applied Materials（应用材料）、Tokyo Electron（东京电子）等。

表1：各种化学气相沉积（CVD）设备比较

序号	分类	主要特点	应用领域	主要厂商
1	常压化学气相沉积（APCVD）	成本较低，结构简单，生产效率高	制备多晶硅、二氧化硅、磷硅玻璃等	First Nano、北方华创等
2	低压化学气相沉积（LPCVD）	提高了薄膜均匀性、电阻率均匀性，改善了沟槽覆盖填充能力	制备二氧化硅、氮化硅、多晶硅、磷硅玻璃、硼磷硅玻璃、掺杂多晶硅、石墨烯、碳纳米管等多种薄膜。	合肥科晶、Tokyo Electron、北方华创等
3	等离子体化学气相沉积（PECVD）	反应温度低，提高了薄膜纯度与密度，节省能源，降低成本，提高产能	浅槽隔离填充，侧壁隔离，金属连线介质隔离	Oxford Instruments（牛津仪器）、Lam research（柯林研发）、Applied Materials（应用材料）、北方华创、拓荆科技等
4	原子层化学气相沉积（ALCVD）	生长温度较低，薄膜均匀性和致密性较好	晶体管栅极介电层和金属栅电极等半导体和纳米技术领域	First Nano（德国韦氏纳米）、Applied Materials（应用材料）、Tokyo Electron（东京电子）、拓荆科技等
5	气相外延（VPE）	设备简单，生长的 GaAs 纯度高，电学特性好	Si 气相外延：Si 半导体器件和集成电路的工业化生产。GaAs 气相外延：霍尔器件、耿氏二极管、场效应晶体管等微波器件中。	北方华创等
6	有机金属化学气相沉积（MOCVD）	实现对孔隙和沟槽很好的台阶覆盖率	用于 GaN 系半导体材料的外延生长和蓝色、绿色或紫外发光 二极管芯片的制造	中微半导体设备等
7	高密度等离子体化学气相沉积（HDPCVD）	改善 PECVD 薄膜的致密性、沟槽填充能力和生长速率	CMOS 集成电路的浅沟槽隔离	Lam research（柯林研发）、Applied Materials（应用材料）、北方华创等
8	微波等离子气相沉积（MPCVD）	制备面积大、均匀性好、纯度高、结晶形态好	高质量硬质薄膜和晶体、大尺寸单晶金刚石	Quantum Design、NEO coat（尼奥科特）等
9	高温化学气相沉积（HTCVD）	沉积温度过高，沉积速率过快，会造成晶体组织疏松、晶粒粗大甚至会出现枝状结晶。	碳化硅晶体	天津中环等
10	中温化学气相沉积（MTCVD）	制备的薄膜具有均匀性和致密性	硬质合金涂层材料	天津中环等
11	激光诱导化学气相沉积（LCVD）	大大降低衬底的温度，防止衬底中杂质分布截面受到破坏；可以避免高能粒子辐照在薄膜中造成损伤。	制备晶体硅、金刚石、纳米碳管、超硬膜、介质膜、微电子薄膜	深圳市森美协尔科技等

12	热丝化学气相沉积系统 (HFCVD)	设备简单, 工艺条件较易控制, 金刚石膜生长速率比化学输运法快。	多用于钻石的生产	NEO coat 等
----	--------------------	----------------------------------	----------	------------

资料来源: 知乎十一维科研中心, 民生证券研究院

1.2 CVD 设备主要应用领域

CVD 设备应用领域广泛, 在制备保护层、晶体薄膜、微电子材料层、光学材料等领域处于不可或缺的地位。

表2: CVD 设备主要应用领域

领域	详情介绍
制备保护层	许多特殊环境中使用的材料往往需要有涂层保护, 使其具有耐磨、耐腐蚀、耐高温氧化和耐射线辐射等特性。例如, 用 CVD 法制备的 TiN、TiC 等薄膜具有很高的硬度和耐磨性。其能有效地控制在车、铣和钻孔过程中出现的磨损特别是车床用的转位刀片、铣刀、刮刀和整体钻头。TiN 与金属的亲合力小, 抗粘附能力和抗月牙形磨损性能比 TiC 涂层优越, 因此, 刀具上广泛使用的是 TiN 涂层。另外, 通过沉积获得的 Al ₂ O ₃ 、TiN 等薄膜耐蚀性很好, SiC、Si ₃ N ₄ 、MaSi ₂ 等硅系化合物是很重要的高温耐氧化涂层。此外, 用真空镀膜制备的抗热腐蚀和合金镀层及进而发展的热障镀层已有多种系列用于生产中, 部分离子镀 Al、CuTi 笔薄膜已代替搪瓷制品用于航空工业的零件上。
制备晶体或晶体薄膜	由于现代科学技术对无机新材料的需求, 晶体生长领域的发展十分迅速。化学气相沉积法不仅能极大改善某些晶体或晶体薄膜的性能, 而且还能制备出许多其他方法无法制备的晶体, 已成为无机新品体主要的制备方法之一, 广泛应用于新品体的研究与探索。其中最主要的应用之一是在一定的单晶衬底上沉积外延单晶层。最早的气相外延工艺是硅外延生长, 其后又制备出外延化合物半导体层。
制备微电子材料层	在半导体器件和集成电路的基本制造流程中, 有关半导体膜的外延, P-N 结扩散元的形成、介质隔离、扩散掩膜和金属膜的沉积等是工艺核心步骤, 化学气相沉积在制备这些材料层的过程中逐渐取代了如硅的高温氧化和高温扩散等旧工艺, 在现代微电子技术中占主导地位, 在超大规模集成电路中, 化学气相沉积可以用来沉积多晶硅膜, 钨膜、钼膜、金属硅化物, 氧化硅膜以及氮化硅膜等, 这些薄膜材料可以用作栅电极, 多层布线的层间绝缘膜, 金属布线, 电阻以及散热材料等。
制备超导材料	利用 CVD 技术制备超导材料是美国无线电公司在 20 世纪 60 年代发明的, 用化学气相沉积生产的 Nb ₃ Sn 低温超导带材涂层致密, 厚度较易控制, 力学性能好, 是目前烧制高场强小型磁体的最优良材料。而且为了提高 Nb ₃ Sn 的超导性能, 许多国家在掺杂、基带材料、脱氢、热处理以及镀铜稳定等方面做了大量的研究工作, 使 CVD 法成为 Nb ₃ Sn 超导带的主要生产方法之一。
制备太阳能电池	利用无机材料的光电转换功能制成太阳能电池是利用太阳能的一个重要途径。目前制备多晶硅薄膜电池多采用 CVD 技术。现已试制成功的硅、砷化镓同质结电池以及利用 II~V 族、I~V 族半导体制成的多种异质结太阳能电池, 大多是薄膜形式, 制备多是采用气相沉积技术。
制备光学材料	在光学领域中, 金刚石薄膜被称为未来的光学材料, 它具有波段透明和极其优异的抗热冲击、抗辐射能力, 可用作大功率激光器的窗口材料, 导弹和航空、航天装置的球罩材料等。金刚石薄膜还是优良的紫外敏感材料。而且上海交通大学把 CVD 金刚石薄膜制备技术应用于拉拔模具, 不仅攻克了涂层均匀涂覆、附着力等关键技术, 而且解决了金刚石涂层抛光这一国际性难题。

资料来源: 中国粉体网, 民生证券研究院

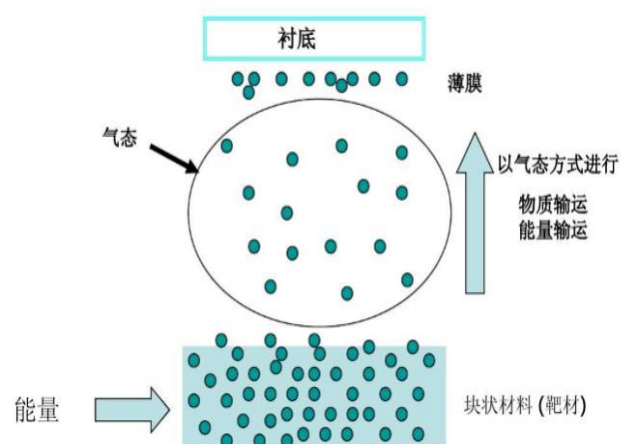
2 物理气相沉积 (PVD)

物理气相沉积 (PVD) 指的是利用某种物理的过程, 如物质的热蒸发或在受到粒子束轰击时物质表面原子的溅射等现象, 实现物质从源物质到薄膜的可控的原于转移过程。

PVD 技术出现于二十世纪七十年代末, 制备的薄膜具有高硬度、低摩擦系数、很好的耐磨性和化学稳定性等优点。最初在高速钢刀具领域的成功应用引起了世界各国制造业的高度重视, 人们在开发高性能、高可靠性涂层设备的同时, 也在硬质合金、陶瓷类刀具中进行了更加深入的涂层应用研究。

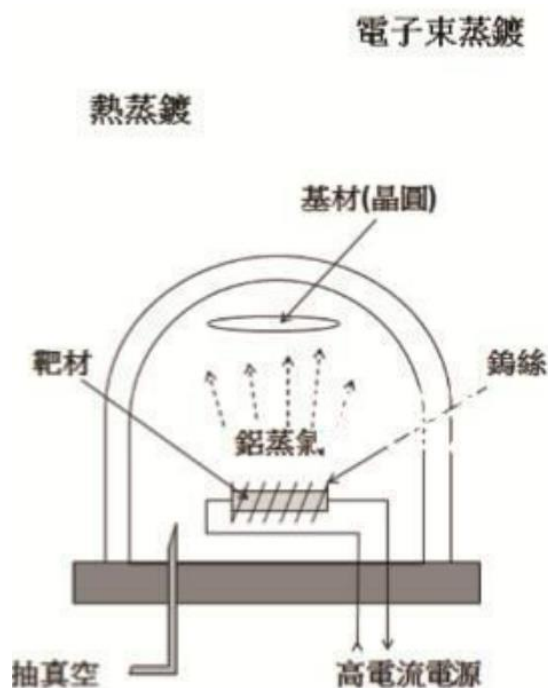
物理气相沉积技术基本原理可分三个工艺步骤: (1)镀料的气化: 即使镀料蒸发, 升华或被溅射, 也就是通过镀料的气化源; (2)镀料原子、分子或离子的迁移: 由气化源供出原子、分子或离子经过碰撞后, 产生多种反应; (3)镀料原子、分子或离子在基体上沉积。

图4: 物理气相沉积原理图



资料来源: 中国粉体网, 民生证券研究院

图5: 热蒸镀示意图



资料来源: 普迪真空官网, 民生证券研究院

2.1 PVD 设备种类及特点

按照沉积时物理机制的差别, 物理气相沉积一般分为真空蒸发镀膜技术、真空溅射镀膜、离子镀膜和分子束外延等。近年来, 薄膜技术和薄膜材料的发展突飞猛进、成果显著, 在原有基础上, 相继出现了离子束增强沉积技术、电火花沉积技术、电子束物理气相沉积技术和多层喷射沉积技术等。

1、真空蒸镀及溅射镀膜

真空蒸发镀膜法(简称真空蒸镀)是在真空中,加热蒸发容器中待形成薄膜的原材料使其原子或分子从表面气化逸出,形成蒸汽流,入射到固体(称为衬底或基片)表面,凝结形成固态薄膜的方法。

溅射镀膜是指在真空条件下,利用获得功能的粒子轰击靶材料表面,使靶材表面原子获得足够的能量而逃逸的过程称为溅射。被溅射的靶材沉积到基材表面,就称作溅射镀膜。溅射镀膜中的入射离子,一般采用辉光放电获得,在 $10^{-2}\text{Pa} \sim 10\text{Pa}$ 范围,所以溅射出来的粒子在飞向基体过程中,易和真空室中的气体分子发生碰撞,使运动方向随机,沉积的膜易于均匀。发展起来的规模性磁控溅射镀膜,沉积速率较高,工艺重复性好,便于自动化,已适当于进行大型建筑装饰镀膜,及工业材料的功能性镀膜,及 TGN-JR 型用多弧或磁控溅射在卷材的泡沫塑料及纤维织物表面镀镍 Ni 及银 Ag。

2、离子束增强沉积技术(IBED)

离子束增强沉积技术是一种将离子注入与薄膜沉积融为一体的材料表面改性新技术。它是指在气相沉积镀膜的同时,采用一定能量的离子束进行轰击混合,从而形成单质或化合物膜层。它除了保留离子注入的优点外,还可在较低的轰击能量下连续生长任意厚度的膜层,并能在室温或近室温下合成具有理想化学配比的化合物膜层(包括常温常压无法获得的新型膜层)。该技术具有工艺温度低($< 200^{\circ}\text{C}$),对所有衬底结合力强,可在室温得到高温相、亚稳相及非晶态合金,化学组成便于控制,方便控制生长过程等优点。主要缺点是离子束具有直射性,因此处理形状复杂的表面比较困难。

3、电火花沉积技术(ESD)

电火花沉积技术是将电源存储的高能量电能,在金属电极(阳极)与金属母材(阴极)间瞬时高频释放,通过电极材料与母材间的空气电离,形成通道,使母材表面产生瞬时高温、高压微区。同时离子态的电极材料在微电场的作用下融渗到母材基体,形成冶金结合。电火花沉积工艺是介于焊接与喷溅或元素渗入之间的工艺,经过电火花沉积技术处理的金属沉积层具有较高硬度及较好的耐高温性、耐腐蚀性和耐磨性,而且设备简单、用途广泛、沉积层与基体的结合非常牢固,一般不会发生脱落,处理后工件不会退火或变形,沉积层厚度容易控制,操作方法容易掌握。主要缺点是缺少理论支持,操作尚未实现机械化和自动化。

4、电子束物理气相沉积技术(EB-PVD)

电子束物理气相沉积技术是以高能密度的电子束直接加热蒸发材料,蒸发材料在较低温度下沉积在基体表面的技术。该技术具有沉积速率高($10\text{kg/h} \sim 15\text{kg/h}$ 的蒸发速率)、涂层致密、化学成分易于精确控制、可得到柱状晶组织、无污染以及热效率高等优点。该技术的缺点是设备昂贵,加工成本高。目前,该

技术已经成为各国研究的热点。

5、多层喷射沉积技术(MLSD)

传统的喷射沉积技术相比，多层喷射沉积的一个重要特点是可调节接收器系统和坩埚系统的运动，使沉积过程为匀速且轨迹不重复，从而得到平整的沉积表面。其主要特点是：沉积过程中的冷却速度比传统喷射沉积要高，冷却效果较好；可制备大尺寸工件，且冷却速度不受影响；工艺操作简单，易于制备尺寸精度较高、表面均匀平整的工件；液滴沉积率高；材料显微组织均匀细小，无明显界面反应，材料性能较好。

2.2 PVD 设备主要应用领域

1、制备刀具、模具镀层

最早应用于模具和刀具中。通过沉积 TiC 镀层，可以有效延长模具的寿命；在高速钢刀具中沉积镀膜，可提高刀具的抗磨损性、抗粘屑性和刀具的切削速度，同时经镀膜的刀具还具有高硬度、高化学稳定性、高韧性、低摩擦系数等特点。

2、制备建筑装饰材料

因物理气相沉积技术具有沉积过程易于操作，膜层的成分易于控制，不存在废水、废气、废渣的污染等特点，目前，这一技术在建筑装饰中得到广泛应用。

3、制备特殊薄膜材料

雾化沉积技术可以显著地扩大合金元素固溶度，获得细小均匀的等轴晶组织，减小合金元素的宏观偏析，增加第二相的体积分数，细化第二相粒子，从而避免了传统冶金工艺中由于冷却速度低而导致的化学成分宏观偏析以及组织粗大等诸多弊端，可实现大尺寸快速凝固材料的一次成型，目前多应用于颗粒增强金属基复合材料的制备，如用雾化沉积技术制备 MMCs 等。另外，利用脉冲激光弧沉积技术制备类金刚石薄膜的方法国内已经开展了研究。

4、制备电学及医学薄膜

具有铁电性且厚度尺寸在数十纳米到数微米的铁电薄膜具有良好的介电、电光、声光、光折变、非线性光学和压电性能，主要被应用于随机存储器、电容器、红外探测器等领域，其制备方法主要有溅射法、脉冲激光沉积法等。羟基磷灰石(HA)属于磷酸盐无机非金属材料，它的化学成分和晶体结构与脊椎动物的骨及牙齿的矿物成分非常相近，且与生物组织有良好的相容性，目前在种植牙和人工骨等方面有着广泛的应用，羟基磷灰石薄膜同样可以采用物理气相沉积技术制备。

5、制备耐腐蚀涂层

通过 PVD 技术使腐蚀介质很难穿透涂层到达基底，使腐蚀介质与基底材料有效隔绝，达到抗腐蚀保护基底的目的。

3 CVD 和 PVD 设备对比分析

表3：CVD 和 PVD 优缺点对比分析

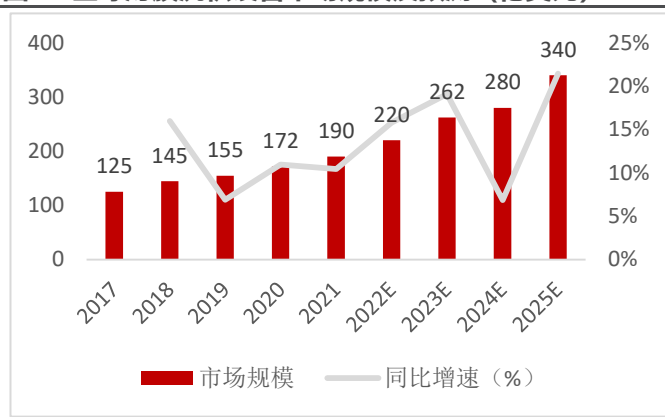
	优点	缺点
化学气相沉积 (CVD)	1、CVD 沉积成膜装置较 PVD 相比简单，真空度要求不高，甚至不需要真空，如热喷覆； 2、可在大大低于其熔点或分解温度的沉积温度下制造耐熔金属和各种碳化物、氮化物、硼化物、硅化物和氧化物薄膜； 3、成膜所需的反应源材料一般比较容易获得，而且制备通一种薄膜可以选用不同的化学反应；有意识的改变和调节反应物的成分，又能方便的控制薄膜的成分和特性，因此灵活性较大； 4、特别适用于在形状复杂的零件表面和内孔镀膜； 5、CVD 工艺对进入反应器工件的清洁要求比 PVD 工艺低一些，因为附着在工件表面的一些污物很容易在高温下烧掉。此外，高温下得到的镀层结合强度要更好些。 6、镀膜的成份多样化，包括金属、非金属、氧化物、氮化物、碳化物、半导体、光电材料、聚合物以及钻石薄膜等； 7、可以在复杂形状的基材镀膜，甚至渗入多孔的陶瓷； 8、厚度的均匀性良好，LPCVD 甚至可同时镀数十芯片。	1、热力学及化学反应机制不易了解或不甚了解； 2、须在高温下进行，有些基材不能承受，甚至和镀膜起作用； 3、反应气体可能具腐蚀性、毒性或爆炸性，处理需格外小心； 4、反应生成物可能残余在镀膜，成为杂质； 5、基材的遮蔽很难。
物理气相沉积 (PVD)	1、PVD 沉积速率高于 CVD，CVD 一般在几百 nm/min 以内，不如蒸发和离子镀，甚至低于溅射镀膜； 2、PVD 采取物理手段，环境友好。而 CVD 在不少场合下，参加沉积的反应源和反应后的余气易燃、易爆或有毒，需要采取防止环境污染的措施； 3、PVD 技术在基体需要局部或某一个表面沉积薄膜时很方便； 4、即使采取了一些新的技术，CVD 成膜时的工件温度仍然高于 PVD 技术； 5、沉积温度低，一般在 600°C 以下，对刀具材料的抗弯强度影响很小； 6、涂层的应力状态是压应力，更适应于硬质合金精密复杂刀具的涂层； 7、随着纳米涂层的出现，涂层刀具质量显著提高，不仅具有结合强度高、硬度高和抗氧化性能好等优点，还能有效地控制精密刀具刃口形状及精度。 8、PVD 镀膜如实地反映材料的表面，不用研磨就具有很好的金属光泽，这在装饰镀膜方面十分重要。相反，CVD 镀层往往比各种 PVD 镀层略厚一些，前者厚度在 7.5μm 左右，后者通常不到 2.5μm 厚。CVD 镀层的表面略比基体的表面粗糙些。	1、涂层设备复杂、工艺要求高、涂层时间长，使得刀具的成本增加； 2、生产的刀具抗冲击性能、硬度和均匀性比技术生产的刀具差，使用寿命也比技术生产的刀具短； 3、涂层的产品几何形状单一，使用领域受限； 4、易产生内应力和微裂纹，原因是涂层与基体在冷却时收缩率不同。

资料来源：知乎十一维科研中心，民生证券研究院

4 薄膜沉积设备市场空间和主要厂商

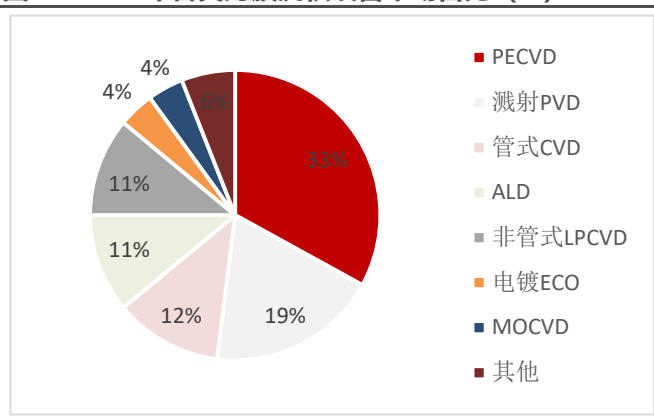
从全球范围来看，薄膜沉积设备市场规模稳步增长。观研报告网数据显示，全球薄膜沉积设备市场规模将从 2019 年的 155 亿美元增长到 2025 年的 340 亿美元，2019-2025 年预计复合增长率近 14%。

图6：全球薄膜沉积设备市场规模及预测（亿美元）



资料来源：观研天下，民生证券研究院

图7：2019 年各类薄膜沉积设备市场占比 (%)



资料来源：观研天下，民生证券研究院

不同制造工艺需要不同的薄膜沉积设备，具体包括 PECVD、溅射 PVD、ALD、LPCVD 等。根据观研报告网 2019 年数据显示，PECVD 设备在总设备中市占率最高为 33%、溅射 PVD 为 19%、ALD 和管式 CVD 均为 11%；SACVD 是较新兴的设备类型，属其他薄膜沉积设备类目下，占比较小。整体而言，PECVD 正成为化学气相沉积的主流技术，未来市占率水平有望进一步提升。

表4：全球薄膜沉积主要厂商

公司名称	国家	PVD	LPCV	APCV	SACV	PECV	CVD HDPC	FCVD	MOC	ECD	EPI	ALD
AMAT	美国	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
LAM	美国					√	√			√		√
VEECO	美国	√							√			√
MTI	美国		√			√						
TEL	日本	√	√	√		√						√
KSEC	日本		√			√						
ASM	荷兰		√			√					√	√
AIXTRQN	德国					√			√			
拓荆科技	中国				√	√						√
北方华创	中国	√	√	√		√					√	√
中微公司	中国								√			
盛美上海	中国		√							√		
微导纳米	中国											√
上海陞通	中国	√				√						
嘉兴科民	中国	√				√						√

资料来源：各公司官网，民生证券研究院整理

5 风险提示

- 1) **全球光伏新增装机规模不及预期。**如果未来国内外疫情反复,则可能会影响光伏新增装机需求,进而影响薄膜沉积设备的需求;
- 2) **HJT、TOPcon 等新型光伏技术推进不及预期。**若 HJT、TOPcon 等新型光伏技术推进或降本提质不及预期,将会影响镀膜设备的市场需求;
- 3) **半导体行业资本开支下滑风险。**如果半导体行业的产能投资强度降低,可能会面临市场需求下降的情况,将会对薄膜沉积设备行业产生不利影响;
- 4) **薄膜沉积设备国产化不及预期。**目前多种型号的薄膜沉积设备尚处于研发和客户端验证,研发存在失败、验证存在一定的不确定性。倘若未来验证结果不及预期或不适合镀膜行业的发展需求,则可能对薄膜沉积行业产生不利影响。

插图目录

图 1: 薄膜沉积技术分类.....	3
图 2: PECVD 原理示意图	4
图 3: 拓荆科技 PECVD 设备	4
图 4: 物理气相沉积原理图	9
图 5: 热蒸镀示意图.....	9
图 6: 全球薄膜沉积设备市场规模及预测 (亿美元)	13
图 7: 2019 年各类薄膜沉积设备市场占比 (%)	13

表格目录

表 1: 各种化学气相沉积 (CVD) 设备比较.....	7
表 2: CVD 设备主要应用领域.....	8
表 3: CVD 和 PVD 优缺点对比分析	12
表 4: 全球薄膜沉积主要厂商	13

分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并登记为注册分析师，基于认真审慎的工作态度、专业严谨的研究方法与分析逻辑得出研究结论，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。本报告清晰准确地反映了研究人员的研究观点，结论不受任何第三方的授意、影响，研究人员不曾因、不因、也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

评级说明

投资建议评级标准		评级	说明
以报告发布日后的 12 个月内公司股价 (或行业指数) 相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A 股以沪深 300 指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。	公司评级	推荐	相对基准指数涨幅 15%以上
		谨慎推荐	相对基准指数涨幅 5% ~ 15%之间
		中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
		回避	相对基准指数跌幅 5%以上
	行业评级	推荐	相对基准指数涨幅 5%以上
		中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
		回避	相对基准指数跌幅 5%以上

免责声明

民生证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告仅供本公司境内客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告仅为参考之用，并不构成对客户的投资建议，不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，客户应当充分考虑自身特定状况，不应单纯依靠本报告所载的内容而取代个人的独立判断。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容而导致的任何可能的损失负任何责任。

本报告是基于已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期，本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告，但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问、咨询服务等相关服务，本公司的员工可能担任本报告所提及的公司的董事。客户应充分考虑可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一参考依据。

若本公司以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。本报告不构成本公司向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议。本公司不会因任何机构或个人从其他机构获得本报告而将其视为本公司客户。

本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、转载、发表、篡改或引用。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记，除非另有说明，均为本公司的商标、服务标识及标记。本公司版权所有并保留一切权利。

民生证券研究院：

上海：上海市浦东新区浦明路 8 号财富金融广场 1 幢 5F； 200120

北京：北京市东城区建国门内大街 28 号民生金融中心 A 座 18 层； 100005

深圳：广东省深圳市福田区益田路 6001 号太平金融大厦 32 层 05 单元； 518026