

参 考 文 献

- [1] 冯端,物理,21(1992),2.
[2] 官波、戴景文、赖祖涵等,待发表
[3] G. Borst, *Steel Res.*, 61-3 (1990), 2.
[4] T. S. Ke (葛庭燧), *Phys. Rev.*, 74 (1948), 914.
[5] L. J. Dijkstra, *Trans. AIME*, 185 (1949), 252.
[6] У. И. Саррак, С. О. Суборова, Г. Н. Грикуров, *ФММ* No. 10 (1992), 182.
[7] В. Г. Строндин, И. А. Варуиш В. И. Юдовский, *ФХОМ* No. 2 (1991), 126.
[8] Gillett H. W. and Mark E. L., *Bur Miner Bull.* 199 (1922), 57.
[9] 戴景文、张国福、赖祖涵等,金属学报,28(1992),A207.
[10] 戴景文、吴玉琴、李广义等,金属学报,27(1991),A408.
[11] 戴景文、耿殿奇、吴玉琴,金属学报,16(1990),A14.
[12] A. S. Nowick and B. S. Berry, *Anelastic Relaxation in Crystalline Solids*, Academic Press, New York and London, 1972.
[13] R. De Batist, *Internal Friction of Structural Defects in Crystalline Solids*, North-Holland Publishing Company, etc, 1972.
[14] 葛庭燧,物理,18(1988),65.
[15] 戴景文、孙玉杰、刘艳美,金属学报,30(1994),A210.
[16] Wang Yenng (王业宁), Zhu Jinsong (朱劲松), *J. de Phys.*, 40 (1981), C5-457.
[17] G. Lagerberg and Ake Josefsson., *Acta Met.*, 3 (1955), 236.
[18] E. W. Kung, *Acta Met.*, 3 (1955), 126.
[19] Y. Yamada. *Trans. ISIJ.*, 16 (1976), 417.
[20] D. B. Fischbach. *Acta Met.*, 10 (1962), 319.

CVD 金刚石膜研究近期进展与应用¹⁾

吕 反 修

(北京科技大学材料科学系,北京 100083)

摘要 简要地总结了 CVD 金刚石膜技术近期研究与开发情况,讨论了金刚石膜工具的热学应用、光学应用及电子学应用的现状、进展及发展趋势。金刚石膜工具的应用是近期具有最大市场的应用。但随着在沉积技术和异质外延技术的进一步突破,金刚石膜光学和电子学应用将比工具应用具有更加光明的市场前景。

关键词 CVD 金刚石膜,进展综述,研究现状与工业应用

Abstract Recent progress in the research and development of CVD diamond film technology is briefly summarised. The present status of fundamental research and commercialisation in the application fields of cutting tools, heat management, optics and electronics are discussed. Tool applications and heat sinks are the largest market at present and in the near future. With further breakthroughs in deposition technology and hetero-epitaxy, applications in diamond film optics and electronics will have an even bright future in the market.

Key words progress, research and commercialisation, CVD diamond films

金刚石无与伦比的硬度尽人皆知,但金刚石所具有的其他极为优异物理化学性质恐怕就鲜为人知了。金刚石(碳)和同族元素硅、锗一样是优良的半导体材料。金刚石禁带宽度为 5.45eV,大于所有已知的半导体材料,此外还具有最高的击穿场强度 (10^6 — 10^7 V·cm⁻¹)、最大的电子饱和速度 (2×10^7 cm·s⁻¹) 和最低的介电常数 (5.66),因此可以用于制作在高温和

强辐射条件下工作的电子器件,或用于高频率、高功率固体微波器件,性能远远优于硅、锗、砷化镓及其他化合物半导体材料。纯净的金刚石电阻率很高 ($>10^{16}$ Ω·cm),但出人预料的是室温热导率却是所有已知物质中最高的 (~ 20 W/cm·K),比铜还高 5 倍!这一性质使

1) 1994 年 12 月 5 日收到初稿,1995 年 3 月 27 日收到修改稿。

金刚石可以用作超大规模集成电路和高功率激光二极管列阵的热沉(散热片)。金刚石的光学性质也同预料,除大约在 $3-5\mu\text{m}$ 位置存在微小的吸收峰(由声子振动所引起)外,从真空紫外($0.22\mu\text{m}$)直至远红外(毫米波段)都具有很好的透过特性。这在所有已知的光学材料中是绝无仅有的。这一优异性质加上其无与伦比的硬度、最高的热导率和极佳的化学稳定性,使其成为最佳的光学窗口材料,可用于高马赫数飞行的导弹头罩和红外焦平面热成像装置的窗口及光学涂层。金刚石还具有最高的弹性模量($1.2 \times 10^{12}\text{N/m}^2$)和纵波声速(18200m/s),可用于高保真扬声器和其他高性能声学器件。但是,由于天然金刚石十分稀少,而用高温高压法($50-50\text{kbar}$ 及数千度高温)人工合成的金刚石颗粒非常细小,且一般含有催化剂杂质,只能用作磨粒磨料和工具(如PCD),而采用低压化学气相沉积方法制备的金刚石膜,可以提供充分利用金刚石各种优异物理化学性质,实现在上述一系列高技术领域应用的机会。正因为如此,化学气相沉积金刚石膜从80年代初取得突破以来,一直受到世界各先进工业化国家(日、美及欧洲等国)的重视,曾一度席卷全球的金矿热(diamond fever)至今仍未降温。

1 金刚石的低压化学气相沉积

几乎就在Bundy及其合作者^[1]在50年代利用石墨和催化剂在高温高压下成功合成金刚石的同时,Eversole^[2]和Derjaguin^[3]开始了从气相合成金刚石的研究工作。他们在低压(真空)下让甲烷(或其它含碳气体)通过加热的金刚石单晶表面热解,并宣称观察到了金刚石的外延生长。由于金刚石的生长总是伴随着极其大量的石墨的生成,这个结果除具有科学意义外,并没有任何实用的价值。Derjaguin并未泄气,终于在70年代后期,找到了在金刚石沉积过程中同时除掉石墨的方法,这就是今天大家都知道的利用原子态的氢去除石墨的方法。金

刚的气相生长实际上是一个动力学控制的过程。从热力学的角度上讲,在化学气相沉积金刚石的温度和压力范围($800-1000^\circ\text{C}$,小于或等于1大气压)石墨是热力学稳定相,而金刚石是热力学不稳定的。但由于动力学的因素,含碳化合物在等离子体或高温热源作用下形成的活化基团在和衬底接触时将同时生成金刚石和石墨,由于原子态氢刻蚀石墨的速率远远大于金刚石,所以在有足量原子氢存在的情况下在衬底上沉积的最终将是热力学不稳定的金刚石,而不是热力学稳定的石墨。遗憾的是,由于曾宣称发现聚合态水而使不少西方人上当,Derjaguin等人的结果并未很快受到重视。直至80年初日本学者用热丝CVD法制备出高质量多晶金刚石膜,才迅速在全世界引起了巨大反响。除热丝CVD(HFCVD)外,微波等离子体CVD(MWCVD)、直流等离子体喷射(DC arc plasma jet),以及燃烧火焰法(flame deposition)等一系列金刚石膜化学气相沉积方法很快发展起来。目前已能用包括这几种主要方法及其派生方法在内的十几种方法实现金刚石的低压汽相沉积。所有这些方法的共同特点是:需要一个能够使含碳化合物裂解形成活化含碳基团和使氢离解成为原子氢的等离子体或高温热源,同时还必须使衬底保持适合于金刚石汽相生长的温度范围($800-1000^\circ\text{C}$)。活化源(等离子体或高温热源)的温度(或等离子体密度)越高,金刚石膜沉积速率越高,而太高或太低的衬底温度都不利于金刚石膜的沉积。近年来的研究发现,原子氧同样具有对石墨碳的选择性刻蚀作用,因此能够在C-H-O三元系中实现金刚石膜的沉积。Bachman等^[4]在总结了大量的实验数据后发现,金刚石只能在C, H, O三个组分的一个特定的成分范围内沉积,这就是所谓的金刚石汽相生长相图(见图1)。有意思的是在C-H-O相图中的碳与其来源没有什么关系,无论是采用甲烷、乙炔、甲醇、乙醇、丙酮、CO等等,只要C, H, O的成分落在金刚石沉积的相区,在合适的条件下都能沉积金刚石。更新的研究结果发现,卤素同样也具

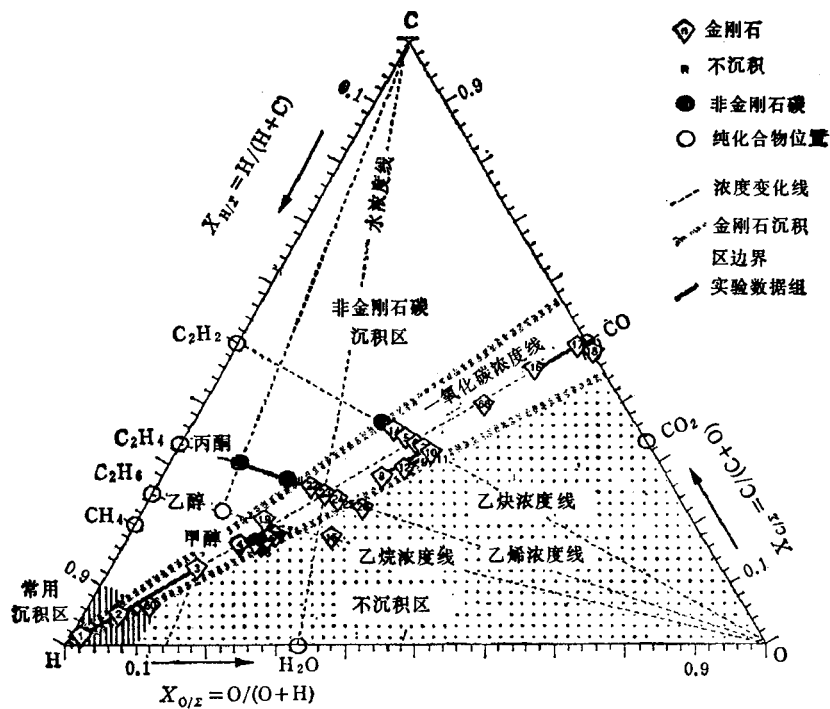


图 1 低压化学气相沉积金刚石膜相图^[4]

有对石墨的选择性刻蚀作用，用碳的卤素化合物也能沉积高质量的金刚石膜^[5]。目前化学气相沉积金刚石膜的纯度已达到用光谱方法检测不出杂质的程度，超过了 IIa 型高质量天然金刚石；热导率可高达 $20\text{W}/\text{cm}\cdot\text{K}$ 以上；光学透过特性也与天然 IIa 型金刚石晶体相当。金刚石膜工业化应用已经提到了议事日程。

2 金刚石膜工业化应用

2.1 金刚石膜工具应用

金刚石膜工具应用中所利用的只是金刚石的硬度，因此最容易实现，由于工具应用量大面广，市场前景极佳，也自然地受到世界各国企业界的广泛重视。金刚石膜工具可分为金刚石厚膜焊接工具和金刚石薄膜涂层工具。前者使用去除衬底的金刚石厚膜 ($0.2\text{--}0.5\text{mm}$)，经激光切割后钎焊在硬质合金工具上，再经抛光和修整而成。后者则是在工具衬底（一般是采用硬质合金）上直接沉积金刚石薄膜（一般在 $10\mu\text{m}$ 以下）。

金刚石厚膜焊接工具性能极为优异，使用寿命比硬质合金工具高数十至上百倍，比金刚石复合片 (PCD) 还要高许多倍，特别适合于加工在汽车工业中广泛应用的高硅铝合金、各种复合材料、陶瓷和有色金属材料。金刚石膜工具的优越性不仅在于它的极高的使用寿命，更重要的是它的极高的加工精度，这是其他工具无法比拟的。目前金刚石厚膜焊接工具在技术上已完全成熟，大规模工业化应用的唯一制约因素是成本。图 2 生动地比较了 CVD 金刚石膜与常用工程材料的价格，图中除月球岩石以外再没有比 CVD 金刚石膜更昂贵的了^[6]。降低制备成本的唯一途径是大面积、高速率沉积高质量金刚石膜的技术。在前面所提到的各种沉积方法中，目前最有希望的是直流等离子体喷射 (DC arc plasma jet)。目前国内已研制成功 10kW 级 jet，可以在 $\Phi 30\text{mm}$ 衬底面积上获得 $50\mu\text{m}/\text{h}$ 的沉积速率，最大沉积面积可达 50mm （但此时沉积速率只有 $20\text{--}30\mu\text{m}/\text{h}$ ）^[7,8]。图 3 为使用该设备获得的无衬底自支撑膜 (free standing film) 的 SEM 照片，可见

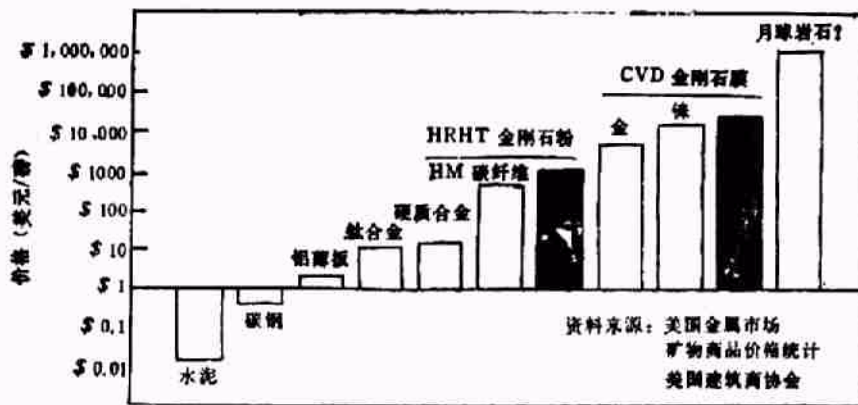


图2 化学气相沉积金刚石膜的价格与常见工程材料的比较^[6]

金刚石膜呈柱状晶生长的明显特征。目前美国的 Norton 公司在此领域保持着领先地位, 他们的高功率 DC plasma jet 设备可以在 $\phi 200$ mm 的衬底面积上达到 $50\mu\text{m}/\text{h}$ 的沉积速率, 可以用来制备高超音速飞行导弹的头罩 ($\phi 15$ cm, 厚达 2—3mm)。金刚石膜热丝 CVD 和 MWCVD 沉积速率低, 因此在金刚石膜制备成本上不如 jet 那样有竞争性。

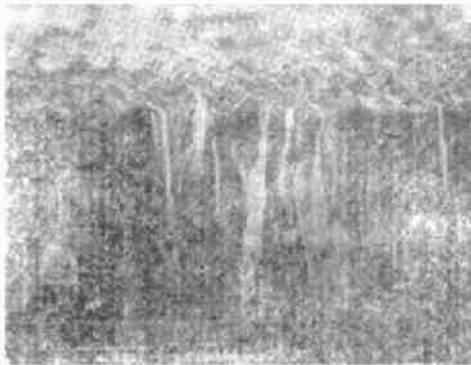


图3 用直流等离子体喷射法制备的无衬底自支撑金刚石膜 (free standing diamond film)

金刚石薄膜工具大多采用硬质合金工具作为衬底, 涂层厚度一般在 $10\mu\text{m}$ 以下, 性能与 PCD 接近, 甚至可超过 PCD, 而成本远比 PCD 低, 且可在复杂形状工具上获得均匀涂层, 因此比金刚石厚膜工具具有更大的市场竞争力。但遗憾的是, 迄今为止, 金刚石膜与硬质合金衬底的结合力并未真正解决。困难来自硬质合金中的粘结相钴。过渡族元素 (Fe, Co, Ni) 在高

温高压条件下能够促进石墨向金刚石的转变, 因此可以用作合成金刚石的触媒, 然而在低温低压下 (CVD 金刚石生长条件下), 它们却促进石墨的生长, 使金刚石膜与硬质合金衬底的结合力变得很差, 无法应用。近年来, 人们几乎用尽了一切可以想到的办法试图改进金刚石膜与硬质合金衬底的结合力^[9], 采取的措施包括: (1)施加各种各样的过渡层; (2)采用酸液浸蚀, 或等离子体刻蚀去除钴; (3)研制含钴量很小的硬质合金衬底等等, 但也只取得了有限的成功。国内一个新的尝试是利用准分子激光照射硬质合金衬底的表面, 不仅可以选择性地蒸发去除表面的钴, 而且还可以利用激光对表面的改性作用使表面粗糙化来进一步增强金刚石膜与衬底的结合力^[10]。图4所示为采用此法在 WC-6wt%Co 合金直接沉积的金刚石膜 SEM 照片, 初步研究结果表明激光表面预处理可以使金刚石膜与硬质合金衬底结合力比采用酸洗去钴的方法几乎提高一倍。尽管结合力的问题尚未彻底解决, 金刚石薄膜涂层工具已经在国外市场上开始大量出现。

在钢铁材料上沉积金刚石膜在应用上有很大的意义, 但由于前述的原因, 以及碳在铁中的极高的扩散系数, 使金刚石的直接沉积极为困难。因此, 已有的研究结果都是采用预先沉积过渡层 (扩散阻挡层) 的方法。最近国内采用特殊的沉积工艺, 靠在工艺过程中原位形成的过渡层抑制石墨的形核, 实现了金刚石膜在低

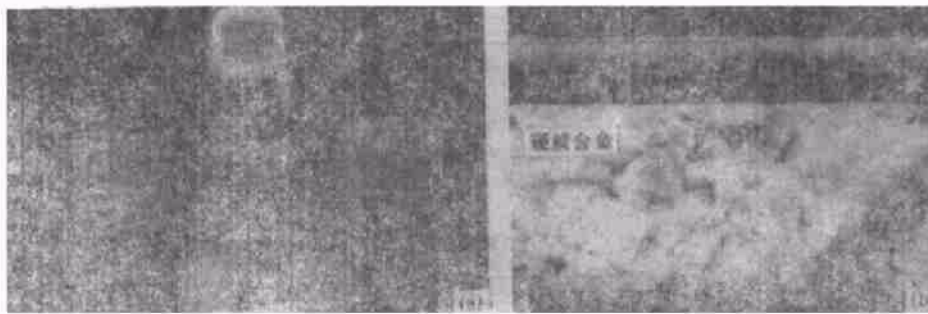
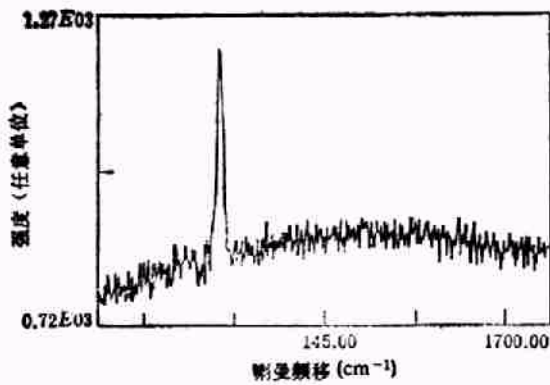


图4 金刚石膜涂层硬质合金工具^[10]



(b) 拉曼谱

图5 在低碳钢上直接沉积金刚石膜^[11]

碳钢上的直接生长(见图5)^[11]。

2.2 金刚石膜的热学应用

天然 IIa 型金刚石晶体室温热导率可高达 $\sim 20 \text{ W/cm} \cdot \text{K}$ ，是铜热导率的 5 倍。CVD 金刚石膜的热导率则取决于金刚石膜的内在质量、金刚石膜厚度，以及测量点在厚度方向(横截面)上的位置。而金刚石膜的内在质量取决于杂质(主要是非金刚石碳)和缺陷(微孪晶、层错、位错和晶界等)的含量和分布组态，它们可以通过控制化学汽相沉积工艺条件而加以控制

和优化。近年来的研究发现，在接近衬底的位置热导率低，在接近自由表面位置热导率高。目前高质量 CVD 金刚石膜的热导率已和天然 IIa 型高质量金刚石晶体相当，而采用纯净 C_{12} 同位素合成的甲烷沉积的高质量金刚石膜再经高温高压生长的大尺寸金刚石晶体的热导率则超过了质量最好的天然金刚石^[12]，高达 $\sim 30 \text{ W/cm} \cdot \text{K}$ ，在世界上曾引起过不小的轰动。

采用金刚石热沉(散热片)的大功率半导体激光器已经用于光通信。金刚石热沉商品已在国际市场出现。金刚石热沉的另一应用前景是用于正在发展之中的多芯片技术(MCMs——multi(chip modules))，这一技术的目标是把许多超大规模集成电路芯片以三维的方式紧密排列结合成为超小型的超高性能器件，而这些芯片的散热则是该技术的关键，显然金刚石膜是解决这一技术难题最理想的材料。MCMs 的研究工作已经开始，并正在取得进展。

2.3 金刚石膜的光学应用

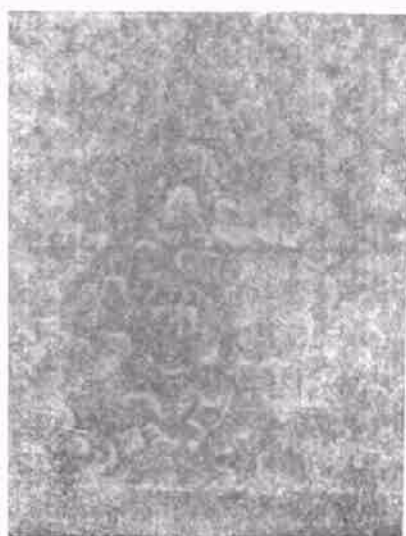
金刚石的光学吸收边在 $0.22 \mu\text{m}$ 左右，相当于真空紫外波段，从此位置直到毫米波段，除位于 $\sim 5 \mu\text{m}$ 附近由于双声子吸收而造成的微弱吸收峰(吸收系数 $\sim 12.3 \text{ cm}^{-1}$)外，不存在任何吸收峰。质量不高的 CVD 金刚石膜，还可能出现位于 $7-8 \mu\text{m}$ 附近的单声子吸收峰，此外如果膜中含有氢，还将在 $3 \mu\text{m}$ 左右位置出现由于 C-H 键振动引起的红外吸收峰^[13]。质量最好的 CVD 金刚石膜，经抛光以后完全透明，毫不亚于高质量天然金刚石晶体，但目前世界上还只有少数实验室能够制备透明金刚石

膜。金刚石膜的透明性除要求极高的纯度和晶体完整性外,还要求严格一致的晶粒取向,使所有的晶界都垂直于生长表面(与人射光平行)。金刚石膜的表面通常都是相当粗糙的(见图3),为减少散射,必须进行抛光。由于金刚石的硬度和化学稳定性都极高,金刚石膜的抛光在目前还是一个相当费时费力的工作。

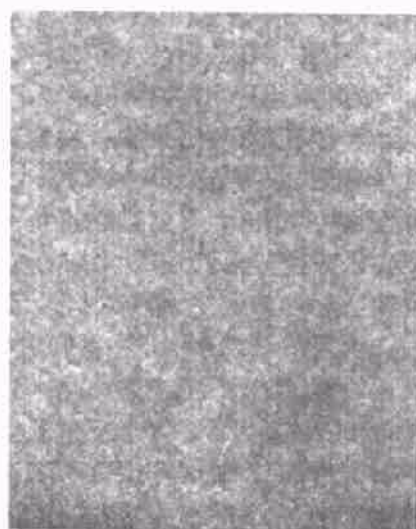
目前金刚石膜最吸引人的光学应用是用作高超音速飞行导弹和拦截器的头罩和红外焦平面阵列热成像装置的窗口。这方面应用的最大难点在于大面积,高质量,且具有特殊形状的金
刚石厚膜的沉积工艺和技术。目前世界上除Norton公司已能制备直径达15cm,厚度达2—3mm的金刚石球罩外,还没有任何人具有这样的能力。但离真正的实用化,距离仍然相当遥远。

金刚石膜作为光学涂层的应用前景同样也非常吸引人。CVD金刚石膜通常沉积温度在800—1000℃左右,大多数光学材料衬底都不

允许在这样高的温度下沉积,因此在低温下沉积金刚石膜的技术就成为金刚石膜光学涂层应用的关键。目前采用微波等离子体CVD方法已能在~140℃的低温下沉积质量可以接受的多晶金刚石膜。该技术的关键是必须在沉积气氛中引入大量的氧,依靠原子氧在低温下对非金刚石碳的较强刻蚀作用保证金刚石膜的沉积^[4,13]。图6所示为在280℃用微波等离子体CVD方法沉积的金刚石膜SEM照片,金刚石晶粒尺寸仅0.2μm左右,因此表面非常平整,不需要抛光就可以在红外波段应用。但由于沉积温度低,膜的生长速度也相当低,这是低温沉积技术的一个不足之处。当前正在发展的用卤素化合物作为碳源的沉积技术以及激光CVD技术,很有可能成为更好的金刚石膜低温沉积技术。金刚石膜光学涂层已经开始实用化,如X-射线光刻技术的掩膜,红外光学器件涂层及X-射线窗口等等。最近,金刚石膜涂层的太阳镜也在国外市场出现。



(a) 350℃



(b) 280℃

图6 低温沉积的金刚石膜SEM照片^[13]

CVD金刚石膜高密度形核也是近年来很受重视的一个研究方向,其目的是沉积高度平整(光学平整)的金刚石薄膜,此外高密度形核也被认为是通向单晶异质外延的一个重要步骤。仅仅就在二三年前,为了获得可以接受的

形核密度($>10^8/cm^2$),还必须用金刚石粉对衬底(一般是硅)进行研磨处理(通常在超声波浴中进行)。最近的研究发现这种令人讨厌的预处理完全可以是不必要的, C_{70} ^[14]、 C_{60} ^[15]、聚乙烯^[16]、化学胶水,甚至一滴变压器油都可能促进

金刚石在光滑衬底表面的高密度形核. Glass^[19]和 Klages^[20]等采用微波等离子体 CVD 加直流偏压的方法, 什么预处理也不用就可以实现光滑衬底上的极高密度形核 ($\sim 10^{12}/\text{cm}^2$), 而且成功地获得了高度取向的(准单晶)金刚石膜。

2.4 电子学应用

CVD 金刚石膜的电子学应用是人们期望值最大而迄今为止进展最不理想的应用范围。在“diamond fever”最盛的时候, 曾有人认为金刚石半导体必将取代性能要差得多的硅半导体, 欢呼“金刚石时代的到来”^[21]。但很快, 人们就冷静地认识到事情并不那么简单, 这是因为今天超大规模硅集成电路的生产规模和应用范围已经到了无法替代的程度, 而金刚石半导体又不可能利用现存的硅半导体器件制作技术。首先, 金刚石(碳)的氧化物是气态的, 不能象硅那样形成固态的氧化物膜, 目前硅半导体生产的掩膜和刻蚀技术和工艺无法直接利用, 其次器件的设计, 制作和封装(packaging)都需要针对金刚石半导体本身的特点进行独立的研究和开发。作为半导体应用, 控制掺杂和单晶异质外延是必须首先加以解决的技术关键, 迄今为止, 这些问题并没有得到很好解决。目前已能实现 n 型和 P 型掺杂, 并已制备出 p-n 结和金刚石膜晶体管原型器件, 但对掺杂的机制, 特别是 n 型掺杂的机理并未充分理解。迄今为止, 异质外延的唯一成功事例是在立方 BN 衬底上外延金刚石膜, 但由于立方 BN 的制备并不比大尺寸金刚石单晶容易, 因此没有什么意义。最近, Glass^[19]和 Klages^[20]成功地利用微波等离子体 CVD 加直流偏压的方法获得了高度取向的金刚石膜, 使 96% 的金刚石晶粒均保持在[100]取向, 晶粒间的取向差在 2—3° 以内。这个研究成果被认为是向着金刚石单晶异质外延方向的一个重大突破。目前, 采用高度取向膜(准单晶膜)制备较高性能器件的研究开发工作正在加紧进行之中。

今天, 一个普遍接受的认识是, 金刚石半导体将首先在哪些硅或砷化镓半导体无法应用的

场合发挥作用, 比如高温、高电压、强辐射环境, 高频率、高功率微波固体器件等等。这方面的原型器件探索性研究开发正在进行之中。除主动式电子器件外, 被动式电子器件, 如各种探测器, 传感器、以及发光(激光器)等器件应用也是金刚石半导体大有可为的地方, 它们可能比主动式器件更早投入实用。最近的一个十分引人注意的动向是金刚石膜大屏幕显示器件的研究, 利用金刚石优良的冷阴极发射特性, 有可能制作廉价、高性能的平面显示屏, 可望用于电脑、电视、飞机、汽车仪表显示及街头广告屏^[22]。

3 结束语

CVD 金刚石膜已经到了大规模工业化应用的前夜, 据权威机构估计^[23]近期市场前景可见下表:

应用	1990	1992	1995
民用光学	40	70	140
军事光学	2	25	310
声学	30	50	100
医学		5	65
电子学	20	55	260
工具和涂层	75	200	1500
磨料	20	50	130
总计	127	450	2495

从表中所列数据可以看出近期的市场前景主要是工具(包括磨料)应用(占整个预测市场的 $\sim 2/3$), 金刚石膜光学(包括军事和民用光学)及电子学应用在近期市场中的应用份额还不大, 这和本文分析相一致。我们迫切需要的是基础研究和应用技术上的进一步突破。如果一旦取得突破, 金刚石膜在光学, 特别是在电子学方面的应用将不可限量。

参 考 文 献

- [1] F. P. Bundy et al., *Nature Lond.*, **176** (1955), 51.
- [2] W. G. Eversole et al., US Patent.No. 3030187, (1962).
- [3] B. V. Spitsyn and B. V. Derjaguin, *Inventors Certificate 339*, (1956), 134, USSR.

- [4] P. K. Bachmann, D. Leers and H. Lydtin, *Diamond and Related Materials*, 1(1991), 1.
- [5] D. E. Patterson, C. J. Chu, B. J. Bai et al., in *Appl. Diamond Films and Related Mat.*, eds. Y. Tzeng et al., (1991), 569.
- [6] J. V. Busch and J. D. Dismukes, *Diamond and Related materials*, 3(1994), 295.
- [7] 李惠琪、吕反修、杨让, *薄膜科学与技术*, No. 3 (1993), 200.
- [8] 钟国仿、吕反修、李惠琪, *薄膜科学与技术*, 7-2(1994), 1.
- [9] H. Hosumi and I. Yoshida, *Diamond Films and Technology*, 1-4 (1992), 247.
- [10] F. X. Lu, C. M. Li, J. J. Wang et al., *Proc. of ICNDST-4*, Kobe, Japan, July 18-22, (1994).
- [11] X. N. Liao, F. X. Lu, J. J. Wang et al., *C. Phys. Lett.*, 11-12(1994), 782.
- [12] M. Malcolm and W. Browne, *New York Times* July 11, (1990).
- [13] Y. Tzeng, *Diamond Films and Technoogy*, 1-1 (1991), 31.
- [14] 吕反修、杨保雄、蒋高松, *北京科技大学学报*, 14-2 (1992), 548.
- [15] F. X. Lu, G. S. Jiang, B. X. Yang et al., *Diamond and Related Materials*, 2(1993), 575.
- [16] R. J. Meilunas, R. P. H. Chang et al., *Appl. Phys. Lett.*, 59-26 (1991), 23.
- [17] 吕反修、王建军、杨保雄等, *高技术通讯*, 10(1992), 1.
- [18] 王建军、吕反修、杨保雄, *高技术通讯*, 7(1993), 17.
- [19] B. R. Stoner and J. T. Glass, *Appl. Phys. Lett.*, 60-6 (1992), 698.
- [20] X. Jiang and C. P. Klages, *Appl. Phys. Lett.*, 62-26 (1993), 3438.
- [21] Russell Seitz, *Proc. Int. Conf. Diamond and DLC Coatings*, Marco Island, Florida, USA, Oct. 15-17, (1989).
- [22] K. Okano, K. Hoshina, M. Iida et al., *Proc. ICNDST-4*, July 18-22, Kobe, Japan.
- [23] *Diamond Deposition: Sciencs & Tcechnology*, 2-12 (1991).

物理学与光纤通信技术

邹柳娟

(华中理工大学物理系, 武汉 430074)

摘要 光纤通信技术, 是物理学、化学、材料科学、计算机控制等多种学科的奇妙结合, 堪称为当代高新技术的结晶。作者用深入浅出的语言, 描述了光纤、光缆的研究、制造、传输特点, 乃至检测光纤各类参数的仪器、仪表的原理等, 以及所贯穿的物理思想和物理知识。

关键词 光纤通信, 光纤, 光纤预制棒, 全反射

光纤通信的出现和发展, 是通信史上的一场革命。它深刻地改变了电信网的面貌, 然而从整体看, 光纤通信的巨大潜力尚未开发, 光纤通信技术仍处于方兴未艾的发展阶段, 各种新技术、新器件和新构思仍在不断涌现。可以设想, 当每个家庭都有一对光纤与电信网相连时, 电信网为用户所能提供的服务将不仅仅是一路电话, 也不仅仅是数据和传真业务, 而是带宽扩大几万倍的巨大信息资源。届时, 宽带可视电话可以使相隔千里的亲人和朋友近在咫尺; 宽带会议电视可以免除很多不必要的旅行出差, 足不出户就可参加各种必须的会议, 乃至国际会议, 仅此一项全世界就可以节约成百上千亿美元的旅行花费; 医生坐在家里就可以观

察几千里外著名大夫的手术过程; 科学家和工程师坐在办公室就可以调用所需的世界各国的数据库和图象库里的资料、数据和录像节目; 学生坐在家里就参加听课、学习、答疑、乃至参加考试; 休息时, 人们可以收看到几十套高质量的节目, 或者随时从公用图象库中调出你所想看的电影和演出的录像节目。

光纤通信的发展将不仅会影响电信网的面貌和社会的进步, 而且将深刻地影响甚至改变人们的工作、思维、甚至生活方式。光纤通信已经成为现代信息社会的最坚实的基础, 并将继续推动社会向更深层次的文明和进步发展。

光纤通信技术, 完全是物理学、化学、材料科学、计算机控制等多种学科的奇妙结合, 堪称