

几种新型超硬薄膜的研究进展*

张生俊 陈光华 邓金祥 宋雪梅 邵乐喜

(北京工业大学材料学院 教育部新型功能材料重点实验室 北京 100022) (湛江师范学院物理系 湛江 524000)

摘要 超硬材料主要由 III, IV, V 族共价键化合物(碳化物、氮化物)和单质(金刚石)组成,硬度高于 40 GPa,有单晶、多晶、非晶等多种。除金刚石外,这些材料都是人工合成的,没有天然对应物。除超硬性质以外,这些材料大都具有宽带隙、高温稳定性、化学惰性等优良的物理化学性质。新型超硬薄膜材料研究从金刚石开始,目前主要的研究对象有金刚石、类金刚石碳(DLC)、立方氮化硼(cBN)、氮化碳(C_3N_4 , CN_x)、硼碳氮(BCN)等,是近二十年来材料研究的热门方向之一。文章结合作者近年来的工作,介绍这几种超硬薄膜的研究进展和展望。

关键词 超硬材料,金刚石,立方氮化硼,氮化碳,类金刚石碳

NOVEL SUPERHARD FILMS

ZHANG Sheng-Jun CHEN Guang-Hua DENG Jin-Xiang SONG Xue-Mei

(School of Materials Science and Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

SHAO Le-Xi

(Department of Physics, Zhanjiang Normal Institute, Zhanjiang 524000, China)

Abstract Superhard materials, defined as having a microhardness exceeding 40 GPa, have attracted extensive interest for decades. They are composed of compounds of group III, IV and/or V (carbides and nitrides) and elemental crystal (diamond). Except for diamond, all these materials can only be synthesized by artificial methods. Other interesting properties of these materials include their wide band gap, stability under high temperature and chemical inertness. Current research on these materials concentrates on diamond, cubic boron nitride(cBN), carbon nitride(C_3N_4 , CN_x), boron carbonitride(BCN) and diamond-like carbon(DLC). A review is presented of the progress and future of these interesting materials, in connection with our own recent studies on the synthesis and properties of wide band gap and superhard materials.

Key words superhard materials, diamond, cubic boron nitride(cBN), carbon nitride(CN_x), diamond-like carbon (DLC)

1 引言

超硬材料的硬度大于 40 GPa,由 III、IV、V 族共价键化合物(碳化物、氮化物)和单质(金刚石)组成,有单晶、多晶、非晶等多种,如金刚石、立方氮化硼(cBN)、氮化碳(C_3N_4 , CN_x)、硼碳氮(BCN)及类金刚石碳(DLC)等。除金刚石外,这些材料都是人工合成的,没有天然对应物。这些材料一般有多种型态,其中的一种或几种具有超硬性质。超硬材料可分为一元系(单质)、二元系化合物、三元系化合物及可能的更多元系化合物。这些超硬材料有以下主要特点:一是化学键以共价键为主,离子键成分少;二是由元素周期表中第二和第三周期的 III、IV 族碳/氮化物及单

质组成,组成元素原子半径很小。超硬材料具有高抗压强度、高热导率、优良光学透过性、高空穴迁移率、高声速、低热膨胀系数等物理性质。超硬薄膜是目前超硬材料的主要研究课题之一。它的研究现状是:金刚石薄膜的制备技术已日趋成熟;高温高压 cBN 的产品早已投入市场,但其薄膜的研究虽然也有很多可喜的成果,却没有像金刚石那样令人振奋;氮化碳(CN_x)、硼碳氮(BCN)、硅硼(碳)氮[SiB(C)N]等薄膜的研究还处于初始阶段,主要研究内容是生长机理、工艺参数、结晶状态、硬度和其他物理性质。由于制备技术的限制,研究程度仍无法与金刚石薄膜相比。

* 国家自然科学基金(批准号:69876003,19874007),北京市自然科学基金(批准号:2982013)资助项目

2000-11-27 收到初稿,2001-03-23 修回

国际上的研究特点是:金刚石薄膜的研究已达到功能器件应用的程度,例如作为场发射器件、MEMs器件;cBN薄膜前景诱人,但困难重重,亟待突破;BCN薄膜成为一个新的尝试点;DLC薄膜已获得工业应用,如超薄(10nm以下)非晶碳膜用作光盘保护涂层^[1].

近年来,我们小组在cBN、金刚石薄膜的制备与性能方面进行了系统的研究工作并取得一些新的进展.本文将结合我们小组的工作,介绍以上这几种主要超硬薄膜材料的发展与现状.

2 cBN 薄膜

氮化硼(BN)是一种非常重要的氮化物,有两种 sp^2 -BN相(hBN和rBN)和两种 sp^3 -BN相(cBN和wBN).其中cBN不仅具有与金刚石相近的性质,如高硬度(仅次于金刚石)、高热导率、宽带隙、负电子亲和势等,它还能进行n型和p型掺杂,是很好的高温电子器件材料,它还是一种很有前途的声光电材料.cBN最早由通用电气公司的Wentorf用高温高压法合成^[2],20世纪70年代中期以来开始其薄膜的研究,目前已能用多种物理气相沉积(physical vapor deposition,PVD)和化学气相沉积(chemical vapor deposition,CVD)方法制备cBN薄膜.人们普遍认为,cBN的成核与生长受衬底硬度、衬底温度、原料比例等多种因素影响,Masri等^[3]新近的研究认为,BN薄膜中cBN的含量受衬底硬度、晶格常数失配、衬底有效弹性常数等多种因素影响.一般认为不论是在CVD还是PVD过程中,离子对生长表面的轰击都非常重要,目前较成功的cBN薄膜制备技术主要是与PVD相关的方法.Ronning等利用离子轰击辅助沉积(ion bombardment-assisted deposition,IBAD)技术制备了室温生长(即在cBN薄膜的生长阶段不对衬底加热)的cBN薄膜^[4].Clarke的研究小组报道了电子回旋共振(electron-cyclotron resonance,ECR)等离子体溅射沉积较厚的近100%立方相的半导体级的cBN薄膜^[5].中国科学院物理研究所曹则贤^[6]最近报道了用电子回旋波共振(electron-cyclotron-wave-resonance,ECWR)溅射法制备cBN薄膜.图1^[7]是我们小组用rf溅射方法近期制备的cBN薄膜的傅里叶变换红外(Fourier-transform infrared,FTIR)谱,其立方相含量超过90%,图2是我们利用热丝辅助的ECR CVD系统沉积的cBN样品的FTIR谱.最近,Ye等^[8]报道了用ECR CVD法制备cBN薄膜,Matsumoto

和张文军^[9]用直流喷射(DC jet)等离子体CVD技术在1040℃的衬底温度下制备了厚度达3μm的cBN薄膜.

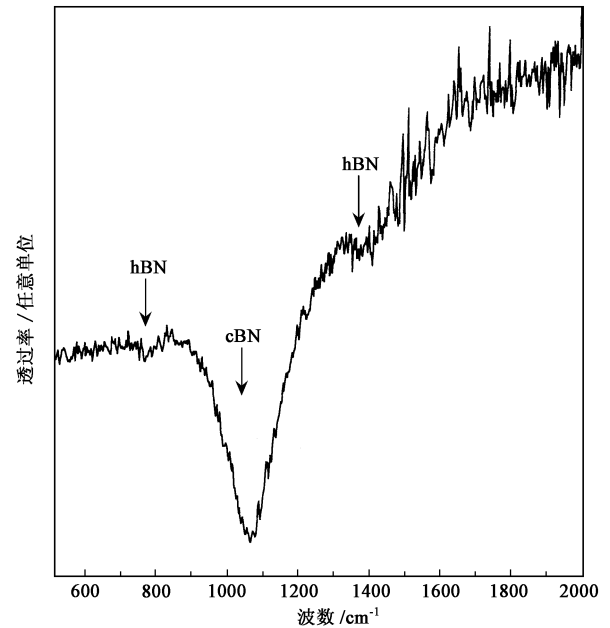


图1 rf溅射制备的cBN薄膜的FTIR谱

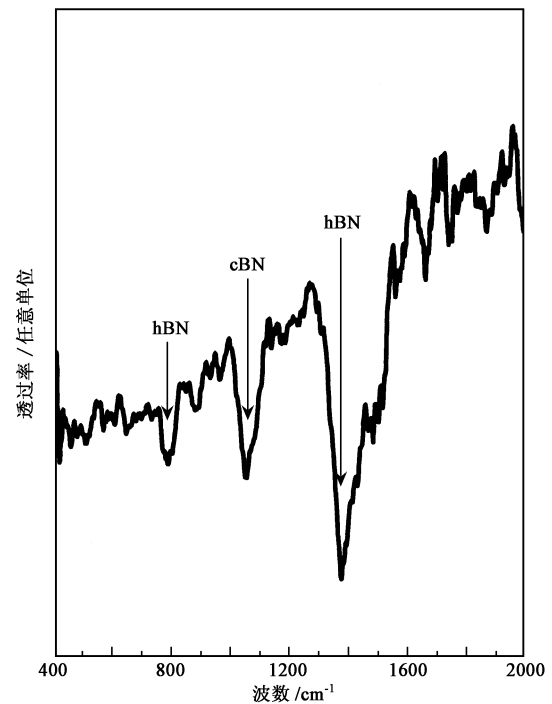


图2 热丝辅助 ECR CVD 系统沉积的 cBN 样品的 FTIR 谱

cBN薄膜的生长机理目前还不十分清楚,已提出了四种生长模型^[10](选择溅射模型、热峰模型、压应力相变模型、亚表面注入模型)来解释cBN薄膜的成核机制,但每一种模型都不能解释所有的实验

结果,难以作为通用的理论模型.对于 cBN 的稳定性,最早普遍认为与金刚石相似,cBN 为常温常压下的亚稳相,但 Solozhenko 等^[11]的实验和计算表明,cBN 是标准状态下的稳定相.图 3^[12]给出了几种 BN 的相关系.无论是成核机制还是 cBN 是否是亚稳相,都还需要大量的进一步的研究工作.cBN 薄膜制备中的主要问题是:(1)与衬底粘附性差,易剥落;(2)内应力大,不易生长厚膜,大于 1 μm 的薄膜会很快由衬底上剥裂、脱落;(3)薄膜在湿度大的空气中易剥落;(4)沉积技术不成熟,实验重复性往往较差;(5)由于外延生长条件不能满足,薄膜的生长有一层六方相的过渡层;(6)CVD 技术发展亟待突破;(7)生长机理没有完全弄清.

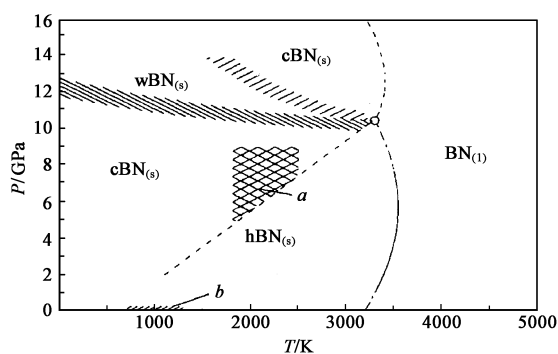


图 3 BN 相关系图

cBN 的优异物化性质吸引了众多研究者的兴趣,在超硬刀具涂层方面,通过纳米多层结构,有可能实现 cBN 的稳定和粘附性的改善,但作为高温器件等方面的应用,还需要进一步改进 CVD 技术,实现外延生长.

总的来看,cBN 薄膜的研究自 90 年代中期达到一个高峰期后,目前有待于新的突破,在制备、应用和稳定性方面均期待上一个新的台阶.

3 金刚石薄膜

金刚石作为惟一的自然界存在的超硬材料,是迄今为止发现的硬度最高的材料.它不仅具有已知材料中最高硬度和最高的热导率,还具有宽的带隙,是一种重要的光学窗口、保护涂层和很有潜力的高温电子器件材料.金刚石薄膜最早是通过热丝法合成制备的,后来发展了等离子体 CVD 技术,如射频等离子体、微波等离子体、ECR 等离子体等.PVD 技术极少被采用,但近年有用脉冲激光沉积(pulsed laser deposition, PLD)技术沉积金刚石的报道.CVD

金刚石技术已比较成熟,一些金刚石涂层刀具已经有工业化产品;已能用微波 CVD 法在硅衬底上实现金刚石(100) 织构膜的大面积生长.近几年来,金刚石薄膜场发射研究也取得较大进展,但其场发射机理还有待于进一步研究.图 4^[13]给出了采用爆炸法制备的纳米金刚石粉通过涂覆技术制得的 0.5 μm 厚的金刚石薄膜的场发射电流 - 电压曲线,开启电压为 400V(对应场强为 4V/ μm).在 700V 电压下得到的发射电流为 40mA(其对应的电流密度约为 130mA/ cm^2).金刚石薄膜研究的总体趋势是作为功能器件研究^[14].近年来,在金刚石薄膜压阻效应方面也有一些研究,金刚石在热、力传感器等方面也有很大的应用前景.

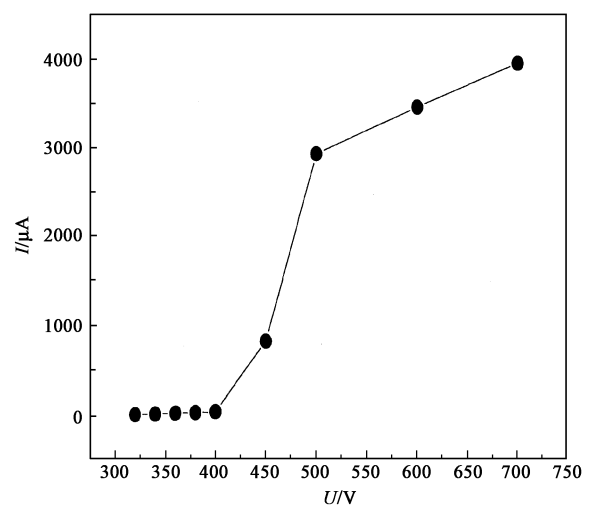


图 4 纳米金刚石涂层场发射电流 - 电压曲线

4 类金刚石碳(DLC)薄膜

非晶碳的研究已有 30 多年历史.最近,又有关于非晶碳中掺入金属、氟(F)等的研究,这些物质的掺入会改变非晶碳膜的某些性质,掺入金属会使薄膜的硬度和摩擦系数变化,而 F 的掺入则对薄膜介电系数的改变起重要作用^[15].非晶碳膜因其碳杂化态和含氢量的不同而有多种名称,如 a - C, Ta - C, a - C - H, DLC 等.在非晶碳薄膜的研究中,主要关心碳的 sp^3 , sp^2 , sp^1 三种杂化态的含量(见图 5^[16]).含 H 的薄膜往往又称为 a - C - H,其 sp^3 键含量一般小于 50%.Ta - C 往往指不含 H 且 sp^3 键含量高于 70%的薄膜(见图 6^[16]).而 DLC 膜指含 H 的 sp^3 键含量可达 75%的非晶碳膜.DLC 为低迁移率半导体,其带隙可变(1 - 4eV),具有室温下的光荧光效应

和低电子亲和势,有良好的抗磨损性能、低的摩擦系数、良好的热导性、良好的红外透过性及高硬度,其性质主要由 sp^3/sp^2 含量决定。此外, DLC 还是很好的生物相容性材料。DLC 中的 sp^3 键与金刚石中的相似,形成四面体配位, sp^2 键与石墨中的相似,形成面内三角形配位的强 σ 键,电子在垂直 σ 键面的 p_z 轨道,形成弱的 π 键。对于 sp^1 键,两个电子形成强 σ 键,另两个电子在 p_y, p_z 轨道形成弱 π 键。除制备方法外,影响 DLC 性能的主要参数有:(1) 荷能粒子的分布;(2) 入射角与入射能量;(3) 沉积时的气压;(4) 衬底温度;(5) 沉积速率。

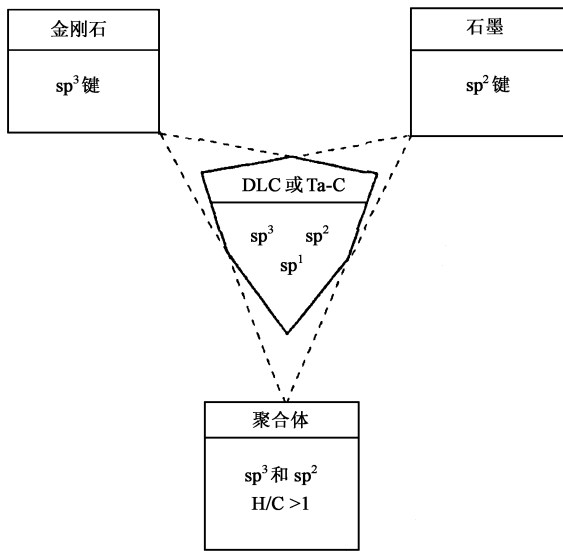


图5 碳的三种杂化态

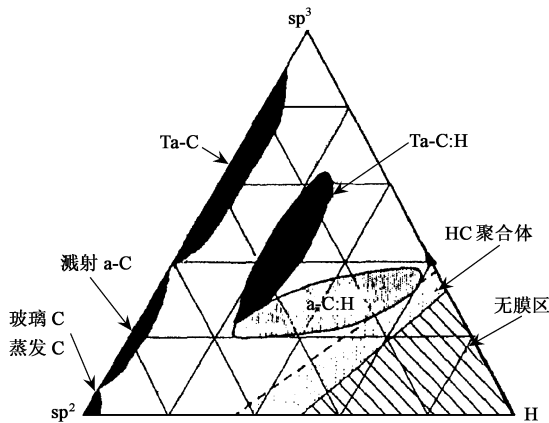


图6 DLC 的相图^[16,17]

5 CN_x 薄膜

CN_x 薄膜的研究热潮源于对 C_3N_4 优异性质的
30 卷 (2001 年) 10 期

兴趣。 C_3N_4 的概念首先由 Sung 等^[18] 提出。Cohen 等^[19] 理论计算认为其 β 相硬度可能与金刚石相近或高于金刚石。 C_3N_4 也有多种相,类似于 Si_3N_4 。 C_3N_4 可能有几种多型:(1) 石墨型 C_3N_4 , CN 原子以石墨层的 ABAB 方式堆积;(2) 与 Si_3N_4 相似的 α 和 β 相;(3) 含有 C 空位的闪锌矿型结构,它类似于 α - $CdIn_2Se_4$ 的赝立方结构;(4) 立方结构;(5) 另外两种类石墨的菱面体结构。Teter 等利用第一性原理计算出 α, β 赝立方型及立方型 C_3N_4 的体模量分别为 425, 437, 448, 496 GPa^[20,21]。但化学计量的 C_3N_4 的合成非常困难,虽然许多文献报道了 C_3N_4 , 目前对其判别依据并不是很有力。另一方面,一些研究者对 C_3N_4 的存在提出了质疑^[22,23],理由是^[23]:(1) 金刚石在 cBN(111) 面上的外延生长实验表明 C-N 键难以形成,表明只可能有局域 C-N 单键存在;(2) 材料的硬度与剪切模量密切相关;(3) 用 X 射线衍射结果鉴定物相有时不完全可靠,且 C_3N_4 的确定需要 $C/N = 3/4$;(4) 一些实验测得高硬度的材料可能是含氮杂质的 Ia 或 Ib 型金刚石^[22]。

CN_x 薄膜的制备方法主要有:C 沉积过程中的 N 离子轰击;C 的化学输运,包括直流等离子体弧喷射、激光工艺,含激光烧蚀、反应激光沉积和激光诱导反应淬火;N 轰击的碳束与碳蒸发;等离子体增强 CVD;无衬底偏压的反应溅射和有衬底偏压的反应溅射;热丝 CVD 等。中国科学院物理研究所王恩哥用偏压辅助热丝 CVD 方法制备了 CN 纳米晶,并利用扫描电镜观察其六方柱形形貌^[24]。Badzian 等用微波 CVD 法获得了具有类似形貌的 SiCN 薄膜,其硬度与 cBN 相近,其 C 含量小于 6at %^[25]。

有人提出了 CN 薄膜制备的几点参考意见^[20,25]:晶体结构的形成在沉积过程中完成,沉积后的热处理和挤压均不能实现晶化; $CN + N$ 源要比 $C + N$ 源好,原子 N 和 CN 源要比分子 N 好;避免使用碳氢化合物的离子和基团;生长区到达的 N/C 比应大于 3;离子原子比也很关键,但最佳值与实验条件有关。大于 5eV 的离子轰击将影响膜中 N 的含量,并使 sp^3 键的形成减少;晶态 C_3N_4 的形成可能需要高的氢或氮浓度, H 的存在增加了化学刻蚀的速率;高原子氮的浓度比 NH 更有利,因为后者倾向于刻蚀 CN;衬底温度应高于 800 °C,衬底效应也很重要。

6 BCN 与 SiBN 薄膜

hBN 与石墨结构相似,石墨是半金属材料,而

hBN为绝缘体,因而 BCN 的性质引起了人们的广泛兴趣.最早合成的 BCN 三元系化合物为 BC_2N ,根据其是否具有反演对称, BC_2N 可具有金属性或半导体性.BCN 体系可形成两种结构^[26]:hBCN 或 cBCN,后者具有超硬性质.hBCN 还具有宽带隙特征,在发光器件、晶体管等方面有广泛应用.

高硬度 BCN 薄膜的制备需要高的沉积温度和对衬底合适的离子轰击.与 DLC 薄膜相似,BCN 薄膜的硬度与沉积条件有很大关系,实验的最大硬度可达 64GPa.由于 cBN 薄膜制备中的实际困难,BCN 薄膜将具很大的潜力.

由于 Si 衬底上沉积的 cBN 薄膜内应力大、易剥落,减小薄膜的应力,使薄膜的稳定性变好已成为研究者关注的问题.SiBN 三元系可具有某些与 BN 相近的性质,且可减小薄膜中的内应力.实验发现^[27],Si 的加入会使薄膜硬度变小,这是由于 Si 的加入使薄膜的结构和相组成发生了变化,在膜中会出现不混溶的 SiN 相.当 Si 含量为 0—20at % 时,随 Si 含量的增加,薄膜由以 cBN 为主变为以 hBN 为主,导致硬度急剧下降;而在 20at %—50at %,随 Si 含量增加,硬度缓慢增加,这可能是由于随 Si 含量增加,薄膜中 SiN 相逐渐增加.

7 展望

20 世纪 80 年代,Sung 等^[18]提出 $\beta-C_3N_4$ 可能是一种硬度与金刚石相近的材料,并由 Cohen^[19]通过体模量理论计算证实其硬度可能接近或超过金刚石,由此掀起了 CN 薄膜的研究热潮.随后,有多位研究者做了 BCN 三元体系及 BC_3 系统的理论和实验研究.在 BN 体系实验研究的基础上,近年来对 SiBN 和 SiCN 体系也有一些研究.但无论 CN 还是 BCN,SiB(C)N 的研究都还处于初始阶段,主要研究的是生长机理、工艺参数、结晶状态、硬度和其他物理性质,研究程度远远无法与金刚石相比.硬度方面,虽然理论预测 C_3N_4 的硬度可能比金刚石大,但实验结果还不能达到如此高的硬度,甚至,还不能可靠地证明 $\beta-C_3N_4$ 能真正合成出来^[22,25,28],目前的薄膜只能称为 CN_x 膜,一些研究者对 CN 薄膜的硬度是否能超过金刚石持怀疑态度^[21].BN 薄膜的研究历史比较长,自 70 年代开始以来,BN 一直是研究的重点材料,原因在于它还有极好的电子学应用前景.高温高压 cBN 的产品早已投入市场,但其薄膜

的研究虽然也有很多可喜的成果,却没有像金刚石那样令人振奋.自 20 世纪 90 年代中期掀起 BN 研究的新浪潮以来,cBN 薄膜的研究取得了许多喜人的结果,但仍有一些问题未解决,cBN 薄膜在力学方面的应用一直受薄膜粘附性差、易剥落的困扰.BN 薄膜(hBN+cBN)的应用研究也有一些进展,如场发射研究^[29]、电学研究等,但无论基础研究还是应用研究,cBN 的工作正期待登上一个新的台阶.

硬度是材料抗形变的能力,它决定于材料的刚性,大配位数、高共价键成分和短原子间距,这些都是材料高硬度的条件.硬度与剪切模量密切相关,但目前关于超硬材料的预测主要以体模量的估计为基础,这种方法预测材料的硬度可能存在一定的不足^[21].对类金刚石型结构,Sung 等^[18]给出了硬度与体模量间的回归拟合经验关系:

$$H = 0.1893 B - 68.2 \text{ (kb)}. \quad (1)$$

Cohen 等^[19,30]的理论研究给出金刚石和闪锌矿结构材料的体模量的经验公式为

$$B = \frac{N_c}{4} \frac{1972 - 220 I}{d^{3.5}}, \quad (2)$$

其中 N_c 为材料的平均配位数; I 为极化因子,对 IV, III-V, II-VI 材料, I 的值分别为 0, 1, 2; d 为键长,单位为 \AA .Sung 等^[18]考虑了原子间距 D 、组成元素的平均周期数 P 、共价度 C 的共同影响,对类金刚石结构得到回归公式:

$$B = 12650 P^{0.0806} D^{-3.41} C^{0.318}. \quad (3)$$

Sung 等^[18]认为,在极端压力下,四面体配位的结构将扭曲形成六次配位的体心立方的八面体结

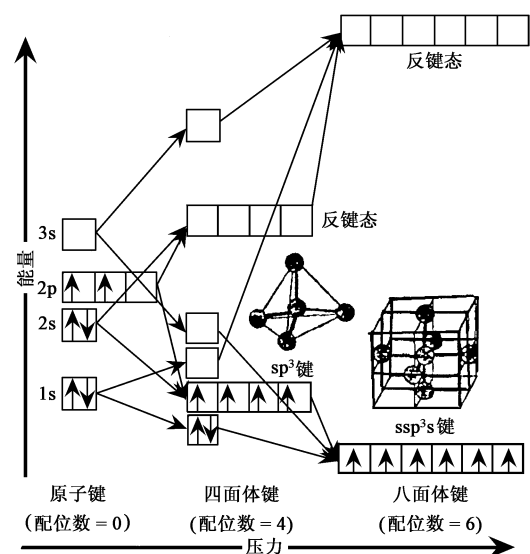


图7 碳配位数与压力^[18]

构,此时压力将导致原子轨道的进一步分裂.如果满足这种配位的完全共价结构存在,则键密度的增大将使其硬度超过金刚石,碳配位数随压力的变化关系如图 7^[18]所示.在高配位下形成共价键,则杂化须超过 sp^3 ,这可通过高压下的电子-电子相互排斥作用满足.Sung 等^[18]还给出了配位数高于 4 的可能超硬材料的体模量关系式:

$$\ln B = 2.89P - 0.0654\Delta I^{0.423} C^{0.0462}, \quad (4)$$

式中 P 为周期数, C 为纯共价键数, ΔI 量度每个原子第一个成键电子和最后一个成键电子间的电离势差,单位为 kb .

最近,Zerr 等^[31]利用高温高压合成,发现了尖晶石($MgAl_2O_4$)结构的 Si_3N_4 ($cSi_3N_4 \equiv \gamma Si_3N_4$),结构中 Si 原子按 1:2 的比例占据四面体位置和八面体位置.Schwaz 等的研究认为^[32], Si-N 的六次配位导致原子堆积密度的增高. cSi_3N_4 密度比六方相高 26%,而体模量为 300 GPa^[32].

参 考 文 献

- [1] Bhushan B. *Diam. Relat. Mater.*, 1999, 8 :1985
- [2] Wentorf Jr. R. H. J. *Chem. Phys.*, 1957, 26 :956
- [3] Masri P *et al.* *Mater. Sci. Forum*, 2000, 338—342 :1527
- [4] Feldermann H, Merk R, Hofäss H *et al.* *Appl. Phys. Lett.*, 1999, 74 :1552; Ronning C, Feldermann H, Hofäss H. *Diam. Relat. Mater.*, 2000, 9 :1767
- [5] Itvinov D L, Taylor II C A, Clarke R. *Diam. Relat. Mater.*, 1997, 7 :360
- [6] Cao Z X. *Diam. Relat. Mater.*, 2000, 9 :1881
- [7] Deng J X, Wang B, Tan L W *et al.* *Thin Solid Films*, 2000, 368 : 312
- [8] Ye M, Delplancke-Ogletree. *Diam. Relat. Mater.*, 2000, 9 :1336.
- [9] Matsumoto S, Zhang W J. *Jpn. J. Appl. Phys. Pt2*, 2000, 39 :L442
- [10] Mirkarimi P B, McCarty K F, Medlin D L. *Mater. Sci. & Eng.*, 1997, R21 (2) :47
- [11] Solozhenko V L. J. *Hard. Mater.*, 1995, 6 :51
- [12] Riedel R. *Adv. Mater.* 1994, 6(7/8) :549
- [13] 张生俊,陈光华,公维宾等. *金属功能材料*, 2000(增刊), 8 : 196[Zhang S J, Chen G H, Gong W B *et al.* *Metallic Functional Materials*, 2001 (Supp), 8 :196 (in Chinese)]
- [14] Nakahara T, Fujimori N. *Mat. Res. Innovat.*, 1997, 1 :38
- [15] Wang X *et al.* *J. Appl. Phys.*, 2000, 87 :621
- [16] Grill A. *Diam. Relat. Mater.*, 1999, 8 :428 ;
- [17] Robertson J. *Philo. Mag. B*, 1997, 76 :335
- [18] Sung C M, Sung M. *Mater. Chem. Phys.*, 1996, 43 :1
- [19] Cohen M L. *Phys. Rev. B*, 1985, 32 :7988
- [20] Muhl S, Mendez J M. *Diam. Relat. Mater.*, 1999, 8 :1809
- [21] Teter D M. *MRS Bull.*, 1998, 23(1) :22
- [22] De Vries R C. *Mat. Res. Innovat.*, 1997, 1 :161
- [23] Badzian A, Badzian T, Roy R *et al.* *Thin Solid Films*, 1999, 354(1 - 2) :148
- [24] Wang E G. *Adv. Mater.*, 1999, 11 :1129
- [25] Muhl S *et al.* *The Preparation and Characterization of Carbon Nitride Films*. In: Kumar A, Chung Y W, Chia R W J eds. *Hard Coatings Based on Borides, Carbides and Nitrides: Synthesis, Characterization, and Applications*——Proceeding of Minerals, Metals, and Materials Society, San Antonio, Texas : MMM Society, 1998. 3—15
- [26] Wada Y *et al.* *Diam. Relat. Mater.*, 2000, 9 :620
- [27] Zhao X A *et al.* *J. Vac. Sci. Technol. A*, 1997, 15(4) :2297
- [28] Sjöström H *et al.* *J. Vac. Sci. Technol. A*, 1996, 14 :56
- [29] Sugino T, Hieda H. *Diam. Relat. Mater.*, 2000, 9(3—6) :1233
- [30] Cohen M L. *Solid State Comm.*, 1998, 107(11) :589
- [31] Zerr A, Mähe G, Serghiou G *et al.* *Nature*, 1999, 400 :340
- [32] Schwaz M, Mähe G, Zerr A *et al.* *Adv. Mater.*, 2000, 12(2) :883

•物理新闻•

周期表上真有第 118 号元素吗 ?

(Element 118 Has Been Erased from the Periodic Table)

在 1999 年的美国《物理评论快报》上,美国 LBL(Lawrence Berkeley National Laboratory)的科学家们发表了一个报告,他们证明当铅-氡的高能下相互作用时可存在第 118 号新的元素.随后在 LBL 以及其他实验室(如德国的 GSI 实验室,日本的 RIKEN 实验室等)做实验时都不能重复他们的结果.现在 LBL 的科学家们又重新分析了他们的实验结果后,发现原来的结果是错误的.因此,最近在寄往美国《物理评论快报》的文章中主动撤消了他们曾发现第 118 号元素的成果.

(云中客摘自 *Phys. Rev. Lett.*, 27 July, 2001)