

氢终端金刚石薄膜生长及其表面结构*

马孟宇¹⁾²⁾ 蔚翠^{1)2)†} 何泽召¹⁾²⁾ 郭建超¹⁾²⁾ 刘庆彬¹⁾²⁾ 冯志红^{1)2)‡}

1) (中国电子科技集团公司第十三研究所, 石家庄 050051)

2) (河北半导体研究所, 固态微波器件与电路全国重点实验室, 石家庄 050051)

(2024年1月9日收到; 2024年2月1日收到修改稿)

氢终端金刚石的导电性问题是目前限制其在器件领域应用的关键因素. 传统的氢终端金刚石制备工艺由于金刚石中含有杂质元素以及表面的加工损伤的存在, 限制了氢终端金刚石的电特性. 在金刚石衬底上直接外延一层高纯、表面平整的氢终端金刚石薄膜成为一种可行方案, 但该方案仍存在薄膜质量表征困难, 表面粗糙度较大等问题. 本文采用微波等离子体化学气相沉积 (CVD) 技术, 在含氮 CVD 金刚石衬底上外延一层亚微米级厚度金刚石薄膜, 并研究分析了不同甲烷浓度对金刚石薄膜生长以及导电性能的影响. 测试结果显示: 金刚石薄膜生长厚度为 230—810 nm, 且外延层氮浓度含量低于 1×10^{16} atom/cm³, 不同的甲烷浓度生长时, 金刚石外延层表面出现了三种生长模式, 这主要与金刚石的生长和刻蚀作用相关. 经过短时间生长后的金刚石薄膜表面为氢终端 (2×1: H) 结构, 而氧、氮元素在其中的占比极低, 这使得生长后的金刚石薄膜具有 P 型导电特性. 霍尔测试结果显示, 甲烷浓度为 4% 条件下生长的氢终端金刚石薄膜导电性最好, 其方块电阻为 4981 Ω/square , 空穴迁移率为 207 cm²/(V·s), 有效地提升了氢终端金刚石电特性, 为推进大功率金刚石器件发展应用起到支撑作用.

关键词: 氢终端金刚石, 甲烷浓度, 生长模式, 电性能

PACS: 81.05.ug, 61.82.Fk

DOI: 10.7498/aps.73.20240053

1 引言

金刚石作为新一代宽禁带半导体材料, 具有大的禁带宽度 (5.5 eV). 同时金刚石是原子排列最紧密的材料. 得益于这些因素, 金刚石表现出优异的电学特性, 如高载流子迁移率 (电子最高迁移率 4500 cm²/(V·s), 空穴最高迁移率 3800 cm²/(V·s)), 高热导率 (室温下 2, 200 W/(m·K)), 高击穿电场 (>1 MV/mm) 等^[1]. 这使得其在高频高压大功率器件领域具有巨大的应用前景. 与当今使用的大多数半导体材料一样, 必须以某种形式对金刚石的晶格进行“掺杂”, 以引入足够高且稳定密度的载流子^[2,3].

20 世纪 90 年代初, 研究人员提出一种未引入任何杂质故意掺杂的氢终端金刚石结构, 由于其较高的载流子迁移率和较容易的获得方法而受到广泛关注. 金刚石表面的氢终端结构在表面电导率显著提高中起着关键作用, 这与金刚石表面的负电子亲和能 (NEA) 和吸附层有关^[4,5]. 目前获得氢终端金刚石的主要办法是在高温高压 (HTHP) 或化学气相沉积 (CVD) 单晶金刚石衬底上直接进行氢化处理, 但由于 HTHP 金刚石衬底在制备过程中引入较多的触媒杂质, 因此氢化后效果并不理想. 而 CVD 金刚石为了提高其制备效率, 通常进行氮元素掺杂, 生长完毕后进行机械加工, 导致金刚石衬底纯度较低, 表面存在不同程度的应力损伤, 增加

* 国家重点研发计划 (批准号: 2022YFB3608603) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: yucui1@163.com

‡ 通信作者. E-mail: ga917vv@163.com

了杂质缺陷散射,使得载流子迁移率不高.为了解决以上问题,通过使用微波等离子体化学气相沉积(MPCVD)技术在CVD金刚石衬底上外延一层亚微米厚度的金刚石薄膜,一方面薄膜具备高纯的特点,避免了杂质对材料的导电性的影响,另一方面金刚石衬底在外延后可得原子级平整表面,不需要再进行抛光,避免加工过程引入应力损伤,可直接用于金刚石器件研制.但该技术仍存在金刚石生长速率不易于控制和监测,生长模式研究不透彻等问题.

目前单晶金刚石生长模式主要分为三类:岛状生长(小丘),台阶状生长以及二维平面生长等^[6-9].Okushi^[6]发现金刚石生长模式与衬底偏向角和甲烷浓度有关.衬底偏向角 θ_{off} 越小($<1.5^\circ$),同时甲烷浓度低($<0.15\%$)时,越易获得原子级平整表面的金刚石外延层.Sung等^[7]通过实验证实,在低 CH_4/H_2 比率下生长的同质外延CVD金刚石薄膜的表面形态主要由 H_2 等离子体蚀刻工艺决定, H 对金刚石(001)晶面的刻蚀速率最低.因而,金刚石衬底的 θ_{off} 越小,表面台阶越不明显,越易实现原子级二维平面生长.Hirama等^[10]计算了氢终端金刚石(100)表面 2×1 重构C—H键密度,为 $1.57\times 10^{15}/\text{cm}^2$.日本NTT基础研究实验室^[11,12]研究了氢终端金刚石暴露在 NO_2 环境下的性能影响,其载流子面密度最高达到了 $2.3\times 10^{14}/\text{cm}^2$.目前,生长后的金刚石表面粗糙度较差,氢终端金刚石载流子迁移率的提升非常困难,相关研究进展缓慢.

本文报道了一种短时间外延金刚石薄膜技术路线,研究了不同甲烷浓度条件下金刚石生长模式,制备出原子级平整的氢终端金刚石外延薄膜.氢终端金刚石实现空穴迁移率为 $207\text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$,方块电阻 $4981\ \Omega/\text{square}$,表面粗糙度 0.5 nm 以下,并通过分析生长模型以及一系列表征手段对该结果进行了合理的解释.

2 实验部分

用于本实验研究的金刚石均为CVD衬底($10\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 0.5\text{ mm}$),晶面为(001),晶面偏向角 $\theta_{\text{off}}\approx 1.5^\circ$,衬底氮杂质含量 $2\times 10^{17}\text{--}5\times 10^{17}\text{ atom}/\text{cm}^3$,不含其他杂质元素.生长前样品上表面粗糙度(RMS)在 0.5 nm 以下,扫描范围为 $10\ \mu\text{m}\times 10\ \mu\text{m}$ (本文均采用该原子力显微镜测试条件),同

时生长前对衬底进行5个点的厚度测试,保证衬底厚度均匀.所有金刚石衬底生长前通过混合酸($\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HNO}_3 = 3:1$)高温煮沸 20 min ,并经过无水乙醇,丙酮,去离子水清洗.

在本研究工作中,使用 6 kW 微波等离子体化学气相沉积设备(MPCVD)制备单晶金刚石薄膜,微波输入频率 2.45 GHz .将清洗好的样品放入腔体内抽真空至 $5.0\times 10^{-6}\text{ mbar}$ ($1\text{ mbar}=100\text{ Pa}$),然后通入高纯氢气激发等离子体(H_2 流量为 200 sccm ($1\text{ sccm} = 1\text{ cm}^3/\text{min}$)),提高设备输出功率和腔体压力,使样品上表面温度到达预定温度后,通常需要进行 H_2 或 H_2 和 O_2 混合气预刻蚀,预刻蚀工艺引入一方面可以去除表面绝大多数杂质,如乙醇、灰尘等,提高外延层纯度,另一方面可以一定程度上去除表面抛光工艺引起的应力损伤,降低外延层缺陷密度,提高晶体质量.完成预刻蚀工艺后通入合适浓度的甲烷控温生长,生长过程的实验参数如表1所示.经过 10 min 的生长,在衬底表面制备了一层高纯单晶金刚石外延层.使用光学显微镜(OM),原子力显微镜(AFM),二次离子质谱(SIMS),低能电子衍射(LEED),X射线光电子能谱(XPS)和霍尔测试系统测试薄膜分析表面形貌以及粗糙度、杂质含量、薄膜表面结构以及氢终端金刚石的电学特性.

表1 MPCVD外延生长金刚石薄膜的实验参数
Table 1. Experimental parameters for MPCVD epitaxial growth of diamond thin films.

	样品1	样品2	样品3
输出功率/W	3500	3500	3500
温度/ $^\circ\text{C}$	860	860	860
H_2 流量/sccm	190	192	194
CH_4 浓度/%	5	4	3

3 结果与讨论

3.1 金刚石薄膜生长速率

图1显示了三个样品的SIMS测试结果,三个样品的氮原子浓度曲线在深度为 $810, 590$ 和 230 nm 处发生转变,说明样品表面通过外延获得了一层相应厚度的高纯金刚石外延层,且外延层氮原子浓度 $\leq 1\times 10^{16}\text{ atom}/\text{cm}^3$ (SIMS测试金刚石中氮原子浓度的检测限为 $1\times 10^{16}\text{ atom}/\text{cm}^3$).CVD金刚石中氮杂质主要以 $[\text{N-V}]^0$ 和 $[\text{N-V}]$ 缺陷的形

式存在, 外延层中氮杂质浓度更低可以有效降低金刚石的缺陷密度, 提高金刚石的晶体质量. 三个样品的生长时间均为 10 min, 生长速率分别为 81, 59, 23 nm/min, 说明随着甲烷浓度的提高, 生长速率逐渐增大 [13,14].

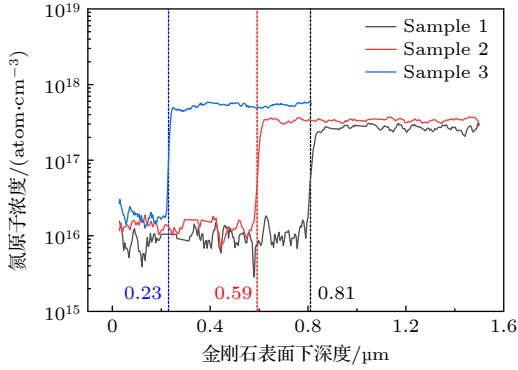


图 1 SIMS 测试金刚石氮原子浓度梯度

Fig. 1. SIMS testing of diamond nitrogen atom concentration gradient.

3.2 不同甲烷浓度对金刚石薄膜生长模式的影响

图 2 为三个样品生长后的 OM 照片和 AFM 照片, 可以看出在不同甲烷浓度下生长的金刚石薄膜形貌差距较大, 当甲烷浓度为 5% 时, 金刚石表面出现高低起伏的生长形貌, 表面高度曲线图显示金刚石薄膜表面有 3.4 nm 左右的高度差, 这可能是由于生长气氛中甲烷浓度大, 生长作用强烈, 表

面局部区域出现过度生长, 从而导致生长厚度不均匀 [15]. 当甲烷浓度为 4% 时, 生长后金刚石表面呈现光滑平整形貌, 无明显高度差, 表面粗糙度为 0.225 nm, 说明在该甲烷浓度下, 金刚石以二维平面的形式生长, 金刚石生长作用和刻蚀作用处于平衡状态. 当甲烷浓度降低至 3% 时, 生长后金刚石表面呈现台阶流形貌, 同时在台阶之间存在明显的刻蚀坑, 不同台阶之间的距离为 2 μm 左右, 且分布均匀. 这是由于在生长过程中甲烷浓度低时, 金刚石生长作用减弱, 刻蚀作用增强, 同时由于金刚石存在一定的晶面偏角 ($\theta_{\text{off}} \approx 1.5^\circ$), 氢等离子体对金刚石上表面的不同晶面刻蚀速率不同, 因而出现台阶流形貌 [16]. 表面的陷坑则是由于刻蚀作用强烈, 氢等离子体对金刚石表面的缺陷区域和非缺陷区域产生选择性刻蚀, 从而产生的缺陷坑形貌 [17].

生长过程中的甲烷浓度对金刚石生长模式具有明显作用, 其本质是金刚石生长作用和刻蚀作用的增强或减弱导致的, 生长作用占优时, 局部出现过度生长, 形成突起形貌, 刻蚀作用占优时, 出现台阶形貌和刻蚀坑, 因此选择合适的甲烷浓度对于获得平整的金刚石外延薄膜至关重要 [18].

3.3 生长前后表面化学成键分析

图 3 为样品 2 在生长前后的 LEED 图谱, 由于金刚石衬底在进行生长前使用混合酸清洗, 因此

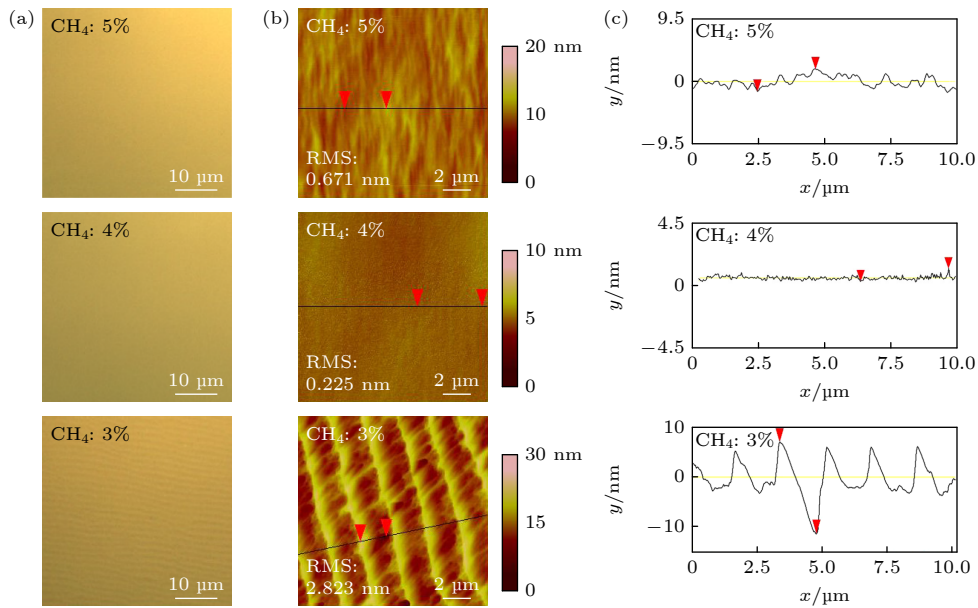


图 2 不同甲烷浓度样品生长后的表面形貌 (a) OM 照片; (b) AFM 照片; (c) 表面高度曲线图

Fig. 2. Surface morphology of samples with different methane concentrations after growth: (a) OM image; (b) AFM image; (c) surface height curves.

其表面以氧终端结构为主, LEED 图谱左图显示了金刚石生长前典型的氧终端 (1×1) 重构, 这与之前的相关研究相符^[19]. 经过短时间的富氢环境生长后, 在理想情况下, 金刚石的末端也可以产生 (1×1: 2H) 的表面, 即金刚石表面发生完全氢化, 每个碳原子的两个悬空键均形成 C—H, 但在这种构型中, 相邻悬空键的氢原子比氢分子中的氢原子更近, 最终相邻氢原子之间的空间相互作用将导致晶格畸变. 因此, 相邻的表面碳原子彼此形成二聚体, 以最小化表面能的方式来减轻这种排斥, 每个表面碳原子可留下一个悬空键用于终止^[5]. 所以当氢处理后, 金刚石表面显示为 (2×1: H) 重构^[20], 如图 3 右图所示金刚石生长后 LEED 图谱.

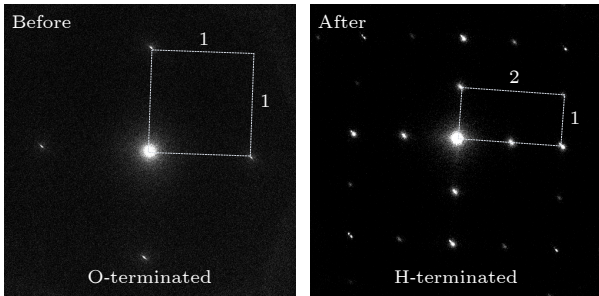


图 3 样品 2 生长前后表面的 LEED 图片

Fig. 3. LEED images of the surface of #2 before and after growth.

图 4 为样品 2 生长前后表面的 XPS 图谱, 根据结果可以看出, 在进行薄膜生长前, 金刚石衬底表面主要存在 C, O, N 三种元素, 表面的氧元素来源于材料表面经过空气氧化、酸煮后形成的氧终端结构, N 元素来源于 CVD 金刚石衬底体内的 N 掺杂 (XPS 测试金刚石表面深度 0—10 nm 的信息). 完成薄膜生长后, 表面主要存在 C 和 O 两种元素, 而未检测到 N 元素, 这与 SIMS 结构相符. 表面的 O 元素的存在可能是金刚石完成生长后直接暴露大气, 表面发生含氧基团吸附所导致的, 但相比薄膜生长前, O 元素的占比出现明显下降, 由 8.36% 下降至 0.64%, 这说明生长后金刚石表面绝大部分的氧终端结构被氢终端结构取代, 从而使外延后的金刚石具备 P 型导电特点.

图 5 为生长前后金刚石表面的 C 1s 图谱. 对生长前后的 C 1s 曲线进行分峰发现, 生长前金刚石表面除了存在 sp³ 外, 仍存在一定数量的 sp² 相, 这可能与金刚石表面重构有关, 而表面的氧终端以 C—O, O—C—O, C=O 价键为主^[21]. 生长后的

C 1s 图谱在结合能 285.5 eV 处出现对应 C—H 键的小峰^[22,23], 进一步证实了外延层表面氢终端结构的存在^[24].

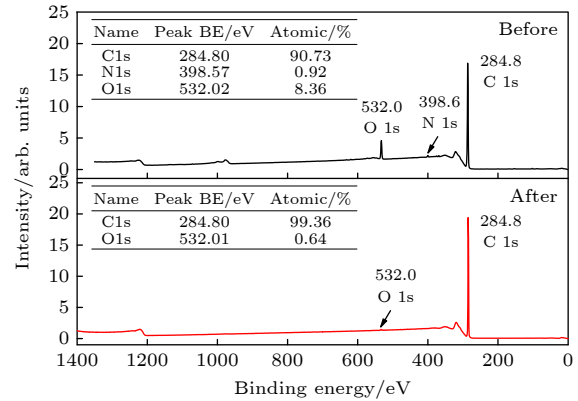


图 4 样品 2 生长前后表面的 XPS 全谱

Fig. 4. XPS spectra of the surface of #2 before and after growth.

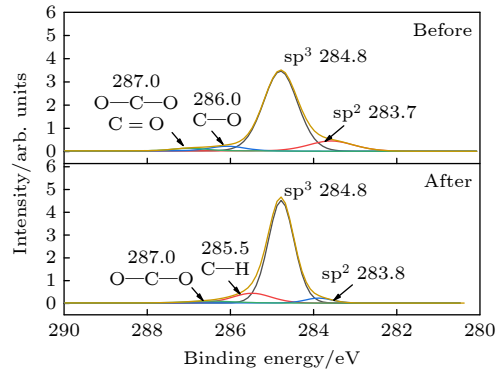


图 5 样品 2 生长前后表面的 C 1s 图谱

Fig. 5. C 1s spectra of the surface of #2 before and after growth.

3.4 氢终端金刚石的电性能

由于外延后的金刚石薄膜表面为氢终端结构, 使得其具有 P 型导电特性. 使用霍尔测试系统来测试氢终端金刚石的电学性能, 如图 6 所示为三个样品的霍尔测试结果, 随着甲烷浓度由 5% 降低至 3%, 空穴载流子密度逐渐升高, 这是由于氢气浓度升高使得氢终端金刚石氢化率提高, 氢终端密度更高, 因此出现面密度升高的现象. 一般来说载流子迁移率与表面的缺陷、杂质浓度相关^[25,26], 在本研究中, #2 表面光滑平整, 无明显缺陷, 引起迁移率下降的陷阱相对较少, 因此载流子迁移率最高, 达到 207 cm²/(V·s), 相应地, 该样品方块电阻最低, 为 4981 Ω/sqaure, 为大功率金刚石器件提供了性能优异的电子级衬底.

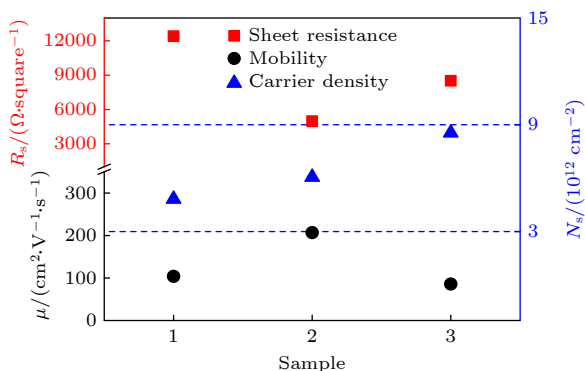


图 6 氢终端金刚石霍尔测试结果

Fig. 6. Hall test results of hydrogen-terminated diamond.

4 结论

本文研究了一种利用 MPCVD 在含氮金刚石衬底上进行短时间生长单晶金刚石薄膜的工艺技术, 通过对样品进行 SIMS 测试, 证实实现了厚度 $1\ \mu\text{m}$ 以下的高纯金刚石薄膜. 通过对比研究不同甲烷浓度下进行的生长实验, 发现在甲烷浓度为 4% 的条件下获得了原子级平整的金刚石外延薄膜, AFM 测试粗糙度为 $0.225\ \text{nm}$, 同时 LEED 和 XPS 结果说明, 经过外延生长后的金刚石薄膜绝大部分为氢终端金刚石结构, 且表面发生了 $(2\times 1:H)$ 重构, 具备 P 型导电特性. 霍尔测试结果显示, 甲烷浓度为 4% 条件下生长的金刚石薄膜导电性最好, 方块电阻为 $4981\ \Omega/\text{square}$, 空穴迁移率为 $207\ \text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$. 本研究工作为金刚石在高频高压大功率器件应用领域发挥支撑作用.

参考文献

- [1] Wang Y F, Wang H X 2020 *J. Synth. Cryst.* **49** 2139 (in Chinese) [王艳丰, 王宏兴 2020 *人工晶体学报* **49** 2139]
- [2] Zhang C M, Zheng Y B, Jiang Z G, Lü X Y, Hou X, Hu S A, Liu J W 2010 *Chin. Phys. Lett.* **27** 088103
- [3] Fang C, Jia X P, Yan B M, Chen N, Li Y D, Chen L C, Guo L S, Ma H A 2015 *Acta Phys. Sin.* **64** 228101 (in Chinese) [房超, 贾晓鹏, 颜丙敏, 陈宁, 李亚东, 陈良超, 郭龙锁, 马红安 2015 *物理学报* **64** 228101]
- [4] Xing Y F, Ren Z Y, Zhang J F, Su K, Ding S C, He Q, Zhang J C, Zhang C F, Hao Y 2022 *Acta Phys. Sin.* **71** 088102 (in Chinese) [邢雨菲, 任泽阳, 张金凤, 苏凯, 丁森川, 何琦, 张进成, 张春福, 郝跃 2022 *物理学报* **71** 088102]
- [5] Crawford K G, Maini I, Macdonald D A, Moran D A J 2021 *Prog. Surf. Sci.* **96** 100613
- [6] Okushi H, Watanabe H, Ri S 2022 *J. Cryst. Growth* **237** 1269
- [7] Sung G R, Hiroaki Y B, Sadanori Y, Hideyuki W, Daisuke T, Hideyo O 2002 *J. Cryst. Growth* **235** 300
- [8] Achard J, Silva F, Tallaire A, Bonnin X, A Gicquel 2007 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **40** 6175
- [9] Tallaire A, Achard J, Silva F, Sussmann R S, Gicquel A 2005 *Diamond Relat. Mater.* **14** 249
- [10] Hirama K, Takayanagi H, Yamauchi S, Yang J H, Kawarada H, Umezawa H 2008 *Appl. Phys. Lett.* **92** 480
- [11] Kubovi M, Kasu M, Kageshima H, Maeda F 2010 *Diamond Relat. Mater.* **19** 889
- [12] Sato H, Kasu M 2012 *Diamond Relat. Mater.* **24** 99
- [13] Liu C, Wang J H, Weng J 2015 *Acta Phys. Sin.* **64** 028101 (in Chinese) [刘聪, 汪建华, 翁俊 2015 *物理学报* **64** 028101]
- [14] Bushuev E V, Yurov V Y, Bolshakov A P, Ralchenko V G, Khomich A A, Antonova I A, Ashkinazi E E, Shershulin V A, Pashinin V P, Konov V I 2017 *Diamond Relat. Mater.* **72** 61
- [15] Geng C W, Xia Y H, Zhao H Y, Fu Q M, Ma Z B 2018 *Acta Phys. Sin.* **67** 248101 (in Chinese) [耿传文, 夏禹豪, 赵洪阳, 付秋明, 马志斌 2018 *物理学报* **67** 248101]
- [16] Shu G Y, Ralchenko V G, Bolshakov A P, Zavedeev E V, Khomich A A, Pivovarov P A, Ashkinazi E E, Konov V I, Dai B, Han J C, Zhu J Q 2020 *CrystEngComm* **22** 2138
- [17] Zhang J F, Xu J M, Ren Z Y, He Q, Xu S R, Zhang C F, Zhang J C, Hao Y 2020 *Acta Phys. Sin.* **69** 028101 (in Chinese) [张金凤, 徐佳敏, 任泽阳, 何琦, 许晟瑞, 张春福, 张进成, 郝跃 2020 *物理学报* **69** 028101]
- [18] Ren Z Y, Liu J, Su K, Zhang J F, Zhang J C, Xu S R, Hao Y 2019 *Chin. Phys. B* **28** 128103
- [19] Liu K, Zhang S, Liu B, Xu M, Zhu J 2020 *Carbon* **169** 440
- [20] Sear M J, Schenk A K, Anton T, Alastair S, Pakes C I 2018 *Phys. Status Solidi A* **215** 18002831
- [21] Attrash M, Kuntumalla M K, Michaelson S, Hoffman A 2020 *J. Phys. Chem. C* **124** 5657
- [22] Alba G, Eon D, Villar M P, Chicot G, Letellier J, Pernot J, Araujo D 2020 *Surfaces* **3** 61
- [23] Ren Z Y, Zhang J F, Zhang J C, Xu S R, Zhang C F, Quan R D, Hao Y 2017 *Acta Phys. Sin.* **66** 208101 (in Chinese) [任泽阳, 张金凤, 张进成, 许晟瑞, 张春福, 全汝岱, 郝跃 2017 *物理学报* **66** 208101]
- [24] Ren Z Y 2019 *Ph. D. Dissertation* (Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and technology) (in Chinese) [任泽阳 2019 博士学位论文 (西安: 西安电子科技大学)]
- [25] Liu J L, Zheng Y T, Lin L Z, Zhao Y, Chen L X, Wei J J, Guo J C, Feng Z H, Li C M 2018 *J. Mater. Sci.* **53** 13030
- [26] Liu J L, Yu H S, Si W T, Ju P Z, Xiao H Y, Xiao L W, Jun J C, Liang X Y, Hai T, Li C M 2020 *Diamond Relat. Mater.* **104** 107750

Growth and surface structure of hydrogen terminated diamond thin films*

Ma Meng-Yu¹⁾²⁾ Yu Cui^{1)2)†} He Ze-Zhao¹⁾²⁾ Guo Jian-Chao¹⁾²⁾
Liu Qing-Bin¹⁾²⁾ Feng Zhi-Hong^{1)2)‡}

1) (*The 13th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang 050051, China*)

2) (*National Key Laboratory of Solid-State Microwave Devices and Circuits,
Hebei Semiconductor Research Institute, Shijiazhuang 050051, China*)

(Received 9 January 2024; revised manuscript received 1 February 2024)

Abstract

The conductivity of hydrogen-terminated diamond is a limiting factor in its application in field-effect transistor devices. The traditional preparation process hinders the improvement of the electrical properties of hydrogen-terminated diamond due to impurity elements in the diamond bulk and surface damage caused by processing near the diamond surface. To overcome this, researchers have explored the epitaxial growth of a high-purity and flat-surfaced diamond thin film on a diamond substrate. However, this approach still faces challenges in film characterization and achieving high surface smoothness. In this study, microwave plasma chemical vapor deposition technology is used to epitaxially grow a sub-micron thick diamond film on a nitrogen-doping chemical vapor deposition diamond substrate of 10 mm × 10 mm × 0.5 mm in size. The influence of methane concentration on the growth and conductivity of diamond film is investigated. The test results reveal that the growth thickness of the diamond film ranges from 230 to 810 nm, and the nitrogen concentration in the epitaxial layer is lower than 1×10^{16} atom/cm³. Three growth modes are observed for the homoepitaxial growth of the diamond thin film under different methane concentrations. A methane concentration of 4% enables two-dimensional planar growth of diamond, resulting in a smooth and flat surface with a roughness of 0.225 nm (10 μm × 10 μm). The formation of different surface morphologies is attributed to the growing process and etching process of diamond. Surface low-energy electron diffraction testing indicates that the surface of the diamond film undergoes a structural transition from oxygen terminal (1×1: O) to hydrogen terminal (2×1: H) when grown for a short period of time. X-ray photoelectron spectroscopy analysis reveals an extremely low ratio of oxygen element to nitrogen element, giving the grown diamond film P-type conductivity characteristics. The Hall test results demonstrate that the hydrogen-terminated diamond film grown with a methane concentration of 4% exhibits the highest conductivity, with a square resistance of 4981 Ω/square and a hole mobility of 207 cm²/(V·s). This enhanced conductivity can be attributed to the lower defect density observed under these specific conditions. The findings of this study effectively improve the electrical properties of hydrogen-terminated diamond, and contribute to the development and practical application of high-power diamond devices.

Keywords: hydrogen-terminated diamond, methane concentration, growth mode, electrical properties

PACS: 81.05.ug, 61.82.Fk

DOI: 10.7498/aps.73.20240053

* Project supported by the National Key R&D Program of China (Grant No. 2022YFB3608603).

† Corresponding author. E-mail: yucui1@163.com

‡ Corresponding author. E-mail: ga917vv@163.com



氢终端金刚石薄膜生长及其表面结构

马孟宇 蔚翠 何泽召 郭建超 刘庆彬 冯志红

Growth and surface structure of hydrogen terminal diamond thin films

Ma Meng-Yu Yu Cui He Ze-Zhao Guo Jian-Chao Liu Qing-Bin Feng Zhi-Hong

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 73, 088101 (2024) DOI: 10.7498/aps.73.20240053

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.73.20240053>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

氢终端单晶金刚石反相器特性

Characteristics of hydrogen terminated single crystalline diamond logic inverter

物理学报. 2022, 71(8): 088102 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20211447>

不同晶面的氢终端单晶金刚石场效应晶体管特性

Characteristics of hydrogen-terminated single crystalline diamond field effect transistors with different surface orientations

物理学报. 2020, 69(2): 028101 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20191013>

高跨导氢终端多晶金刚石长沟道场效应晶体管特性研究

Characterization of high-transconductance long-channel hydrogen-terminated polycrystal diamond field effect transistor

物理学报. 2018, 67(6): 068101 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20171965>

硼硫协同掺杂金刚石的高压合成与电学性能研究

Synthesis of diamond co-doped with B and S under high pressure and high temperature and electrical properties of the synthesized diamond

物理学报. 2019, 68(9): 098101 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20190133>

h-BN/diamond异质结的制备与沟道载流子输运性质

Synthesis of h-BN/diamond heterojunctions and its electrical characteristics

物理学报. 2022, 71(22): 228101 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20220995>

Ib型金刚石大单晶的限形生长

Shape controlled growth for type Ib large diamond crystals

物理学报. 2018, 67(16): 168101 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20180356>