



UWS Academic Portal

Chen, Ruting; Song, Shigeng; Gibson, Des; Fleming, Lewis; Ahmadzadeh, Sam; Chu, Hinon; Zhang, Xiaoling

Published in:
Journal of Functional Materials

Published: 30/07/2020

Document Version
Peer reviewed version

[Link to publication on the UWS Academic Portal](#)

Citation for published version (APA):

Chen, R., Song, S., Gibson, D., Fleming, L., Ahmadzadeh, S., Chu, H., & Zhang, X. (2020). . *Journal of Functional Materials*, 51(7), 7039-7044. <http://www.gncl.cn/EN/article/uniteZhaiYao.do?unitId=18120>,

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the UWS Academic Portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact pure@uws.ac.uk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

氢辅助脉冲直流溅射沉积的碳化硼薄膜的红外光学性质与机械性质的研究*

陈儒婷¹, SHIGENG SONG², DES GIBSON², LEWIS FLEMING², SAM AHMADZADEH², HIN ON CHU², XIAOLING ZHANG³

(1. 光电工程学院, 西安工业大学, 西安 710061; 2. Institute of Thin Films, Sensors and Imaging, School of Computing, Engineering and Physical Sciences, University of the West of Scotland, Paisley PA12BE, UK; 3. Teer Coatings Ltd, West Stone House, West Stone, Berry Hill Industrial Estate, Droitwich, Worcestershire, WR9 9AS, UK;)

摘要: 本研究采用氢气为辅助气体, 在不同氢气流速下用微波等离子体辅助脉冲直流磁控溅射系统制备碳化硼薄膜。碳化硼薄膜的设计厚度为 1200nm, 过渡层非晶硅的设计厚度为 500nm。所用的基板为载玻片、Ge、Si、Si wafer、GaAs 和 JGS3。之后, 采用傅里叶红外光谱 (FTIR), X 射线衍射 (XRD)、维氏硬度计 (Vicker indenter), 分析了氢气流速(0sccm、3sccm、7sccm、10sccm)对碳化硼薄膜的光学性质和机械性质的影响。结果表明, 氢气流速的增加, 可以明显提高红外光学透过率, 降低红外光吸收率。与此同时, 氢气的增加还能降低薄膜应力, 使薄膜易于附着在基底上。然而, 氢气也会使得碳化硼薄膜硬度降低。

关键词: 碳化硼薄膜 红外性质 机械性质

中图分类号: TB32

文献标识码: A

0 前言

碳化硼是一种很重要的材料, 它被广泛用于结构材料、功能材料和陶瓷材料^[1-3]。它也是世界上最硬的材料之一, 仅次于金刚石和立方氮化硼^[4]。另外由于 B

* 收到初稿日期: 2020-01-09

收到修改稿日期: 2020-02-10

通讯作者: 陈儒婷, E-mail: rutingchen@foxmail.com

作者简介: 陈儒婷(1994-), 女, 陕西西安人, 在读研究生, 师承宋世庚教授, 从事光学薄膜材料研究。

原子有很好的中子吸收能力,可以用于中子探测器^[5]。碳化硼最早被发现于 1858 年,随后在 1883 年和 1894 年分别被 Joly 和 Moissan 制备出来^[6, 7]。至今为止,发现了十六种碳硼化合物^[8]。由于碳化硼特殊的结构,直到 1934 年碳化硼化学式才被定义为 B₄C,这也是目前大多数人最认同的结果^[9]。

目前,对 B-C 薄膜的研究还处于初级阶段,主要研究内容是制备工艺与其自身的晶态、硬度等性能之间的关系。通过电子束蒸发沉积发现,随着电子束电流的增加,薄膜的结构发生了明显的变化,B/C 原子数比从 2.93 变化到 3.45,基底温度对碳化硼的结构影响不大^[10]。张玲等人指出溅射功率会影响碳化硼薄膜的组成和结构^[11]。Bradley 等人使用等离子体增强化学气相沉积(PECVD)从邻位碳硼烷(ortho-carborane)中制备了碳化硼,并表明氢原子和碳硼原子比影响着物质的性质,尤其是载流子传输性质(Charge transport properties),该方法也是化学气相沉积使用频率较多的方法^[12]。Lin 和 Feldman 使用射频等离子体分解(RF plasma decomposition)二硼烷和甲烷制备碳化硼薄膜,可以看出随着原料中二硼烷浓度的增加,硼和氢浓度的增加,光学带隙也增加,生长薄膜的显微硬度不变,显微硬度随氢原子浓度的增加而降低^[13]。Eckardt 等人使用脉冲直流磁控溅射(DC magnetron sputter)并以少量烃类作为反应气体(乙炔)制备碳化硼薄膜,结果表面摩擦系数可以从 0.8 降低到 0.2^[14]。

碳化硼薄膜具有高硬度、红外区域的高透过性以及可调控的光学性能参数,可以很好的作为光学镜头的保护涂层,由于其薄膜应力大的问题,很难在一般基片上有很好的附着力^[15, 16]。起初决定使用丁烯(butene)辅助脉冲直流溅射碳化硼薄膜,但在此工艺下,靶表面产生岛状结构且在岛的表面形成绝缘层,进而增加弧光放电(arcing)。经过对比之后,本文采用氢气辅助沉积了碳化硼薄膜,并研究了薄膜的光学性质和机械性质。这也是世界首次使用氢气辅助沉积碳化硼薄膜。此工艺保证了靶材表面的清洁和平整,显著降低了弧光放电。

1 实验

1.1 沉积方法

该实验采用微波等离子体辅助溅射制备碳化硼薄膜,仪器为 DSI 公司的 MicroDyn。基片选择单晶硅(Si)及其晶圆片(Si wafer)、砷化镓(GaAs)、载玻片(Microscope slice)、锗(Ge)、红外光学石英玻璃(JGS3)。然后使用超

声波清洗仪 Clean-line 清洁基片, 频率为 40Hz, 依次经过高 pH 光学清洗液、中性光学清洗液、去离子水, 然后自动烘干。经过先前多次预测验, 在单晶硅(Si)及其晶圆片(Si wafer)、砷化镓(GaAs)、载玻片(Microscope slice)、锗(Ge)、红外光学石英玻璃(JGS3)以及硒化锌(ZnSe)基板上直接溅射碳化硼薄膜, 结果表面只有在硅片上没有薄膜脱落的现象, 因而选择硅作为过渡层以增加附着力。碳化硼靶材选用 PI-KEM 公司的, 纯度为 99.5%, 尺寸为 375mm x 120mm。在正式镀膜前, 先进行 30 分钟的预清洁时间, 是用微波等离子体清洁基片表面除去杂质, 预清洁参数为 3kw 的微波, 190sccm 的氩气以及 10sccm 的氧气。碳化硼靶材溅射用的是功率控制(Power control), 硅靶材溅射用的是电压控制(Voltage control)。实验参数详见表 1。

表 1 实验参数

Table 1 Experiment parameter

设置	参数
靶材 1	B ₄ C
靶材 2	Si
薄膜厚度/nm	B ₄ C:1200; Si:500
电压/V (靶材 1)	400
功率/kW (靶材 2)	3
本底真空/Torr	2.5E-6
过程气体	氩气
反应气体	氢气
气体流速/sccm	氢气:0,3,7,10; 氩气:190
滚筒速度/rpm	60

1.2 样品测试

在该实验中选择 Siemens XRD diffractometer D5000 对样品进行 x 射线衍射测量。采用 Thermo Scientific Nicolet™ 的 is50 测量傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 来测量样品的光学性质, 其光谱分辨率大于 0.09cm^{-1} , 波数扫描范围在红外区 (800–2500nm)。使用维氏硬度仪, 采用连续刚度法测量薄膜力学性能

中的维氏硬度和杨氏模量。采用 MX 203-6-33 型晶圆几何测量仪器 (Wafer geometry gauge) 测量薄膜应力。

2 光学薄膜拟合原理 OJL 色散模型

通过设定折射率 n 、消光系数 k 或介电常数随波长变化的色散函数, 并对透射率数据进行拟合, 从而获得薄膜的 n 和 k 值。色散模型有许多种, 分别适用于不同情况: 在谐振吸收 (Resonant absorption) 情况下, 通常使用经典 Lorentz 模型; 在等离子体吸收 (Plasmonic absorption) 情况下, 如金属和半导体中存在自由载流子的情况下, 使用 Drude 模型; 在带间跃迁 (Interband transition) 情况下, 使用 Tauc-Lorentz 模型和 OJL 模型^[17]。

碳化硼材料是半导体材料, 在这项工作中制备的薄膜是非晶态, 其光学吸收行为不同于完美的晶体半导体^[18]。晶体半导体的吸收边缘在能隙 (band gap) 处突然终止, 而非晶半导体的吸收并不在能隙处停止, 而是延伸到能隙区, 形成带尾^[19]。OJL 模型假设态分布函数 (Distribution of States) $N(E)$ 、态密度函数 (Density of States) DOS 在频带区域呈平方根函数依赖关系, 在尾部区域呈指数函数依赖关系, 其表达式如下:

$$N_C(E) = \frac{\sqrt{2}m_C^{*3/2}}{\pi^2\hbar^3} \begin{cases} \sqrt{E - V_C}, & E \geq V_C + \frac{\gamma_C}{2} \\ \sqrt{\frac{\gamma_C}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2}\right) \exp\left(\frac{E - V_C}{\gamma_C}\right), & E < V_C + \frac{\gamma_C}{2} \end{cases} \quad (1)$$

$$N_V(E) = \frac{\sqrt{2}m_V^{*3/2}}{\pi^2\hbar^3} \begin{cases} \sqrt{\frac{\gamma_V}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2}\right) \exp\left(\frac{E - V_V}{\gamma_V}\right), & E \geq V_V - \frac{\gamma_V}{2} \\ \sqrt{E - V_V}, & E < V_V - \frac{\gamma_V}{2} \end{cases} \quad (2)$$

这些方程描述的非晶半导体的能带结构如图 1 所示, 其中完美晶体的 DOS 沿抛物线曲线发展, 其电子能带隙为:

$$E_{g0} = V_C - V_V \quad (3)$$

其中, V_C 是导带的基态能量, V_V 是价带的基态能量。在非晶半导体中, γ_C 和 γ_V 分别描述导带和价带的尾态 (tail states), 它们的物理意义是非晶态材料的混乱程度。例如, 当 $\gamma_C \rightarrow 0$, 式 (1) 可以得出导带 DOS 的函数式如式 (4) 所示, 价带 DOS 函数式也有同样的结果。

$$N_C(E) = \frac{\sqrt{2}m_C^{*3/2}}{\pi^2\hbar^3} \begin{cases} \sqrt{E - V_C}, & E \geq V_C \\ 0, & E < V_C \end{cases} \quad (4)$$

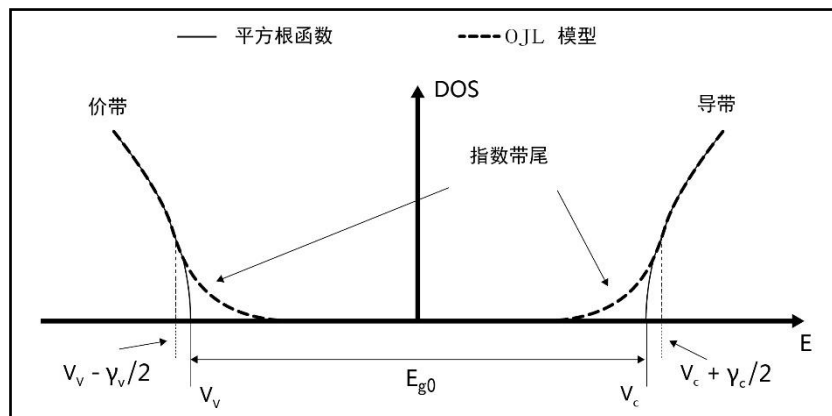


图 1 由式(1)和式(2)所描述的非晶半导体能带结构示意图

Fig 1 The schematic of the structure of the amorphous semiconductor energy band described by formulas (1) and (2)

利用 OJL 模型，可以得到非晶半导体的吸收系数 α ，从而得到消光系数 k 。利用 Kramers-Kronig relations (KKR) 结果可以从消光系数 k 得到折射率 n ，然后可以得到 n 和 k 对波长变化的色散函数，最终可以用该色散函数拟合透射率数据^[20]。采用 Code 软件(version 3.5)进行透射光谱拟合。

3 结果与讨论

3.1 碳化硼薄膜 FTIR 测试结果与光学分析

光学分析选择的都是 JGS3 (石英) 为基底的样品，因为其在近红外透明，方便后续红外光谱分析。正如前文所述，薄膜的光学性质依赖于薄膜的微结构，因此本研究采用 XRD 分析了薄膜的结构。XRD 的扫描方式是 $\theta - 2\theta$ 且 2θ 范围是 10 到 120 度。为了保持同光学分析的一致性，XRD 分析的样品的基板也采用 JGS3。图 2 是不同辅助氢气流量下沉积的碳化硼的 XRD 的结果。在 XRD 谱线中，仅展示了在 20 度左右的山包状的峰，没有任何其它的衍射峰。这表明了本研究所制备的碳化硼样品是非晶态的。这为在后续的光学分析中采用 OJL 模型提供依据。

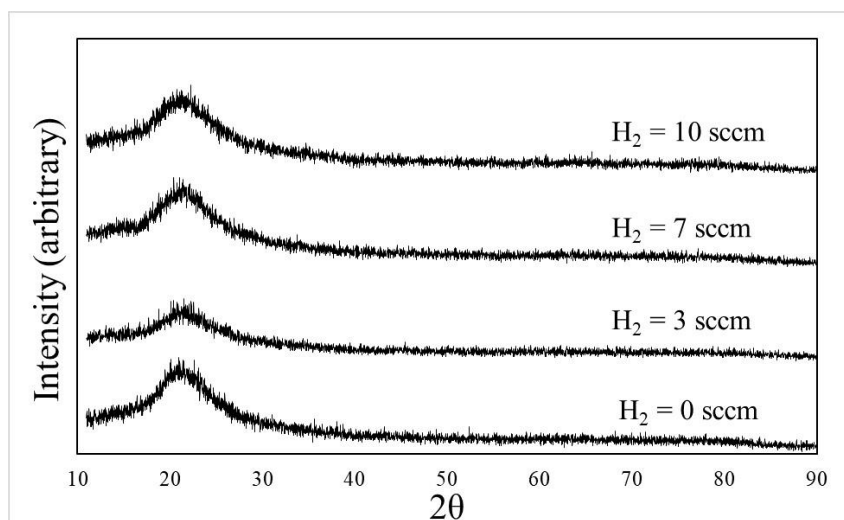


图 2 0sccm-10sccm 条件下碳化硼样品 XRD 图

Fig 2 XRD results of boron carbide samples at 0sccm-10sccm

样品涂层的 FTIR 是由 Thermo Scientific Nicolet™ 的 is50 测试，透射率光谱如图 3 所示。图 3 证明了在溅射过程中加氢气曲线逐渐往上移动，这说明氢气能够有效提高红外透射率，也从另外一方面说明氢气会影响碳化硼薄膜的光学性质，使薄膜光吸收减少，提高了碳化硼作为红外光学器件薄膜的实用性。

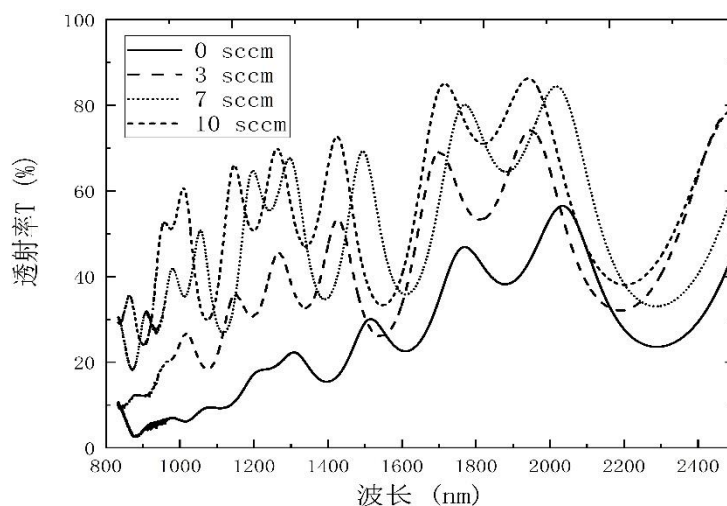


图 3: 碳化硼薄膜透射率随着波长的变化图

Fig 3 The transmittance vs wavelength of boron carbide thin film

通过 CODE 软件拟合透射率 (Transmittance) 对波长 (Wavelength) 的函数。测量 FTIR 选择的是基底为 JGS3 的样品, 即为熔岩石英 (Fused silica), 该材料数据库已知, 所以参数设置为数据库 (Database)。第一层薄膜为碳化硼, 第二

层薄膜为硅，它们都是非晶半导体材料且具体参数待确定，所以使用非晶半导体OJL模型来拟合。CODE软件拟合结果如图4所示，分别是0sccm、3sccm、7sccm、10sccm氢气流速下，薄膜透射率曲线图。黑色曲线为测量的透射率数值，虚线是计算拟合的透射率值，可以从拟合结果图看出，测量的透射率值和拟合出来的值十分吻合。

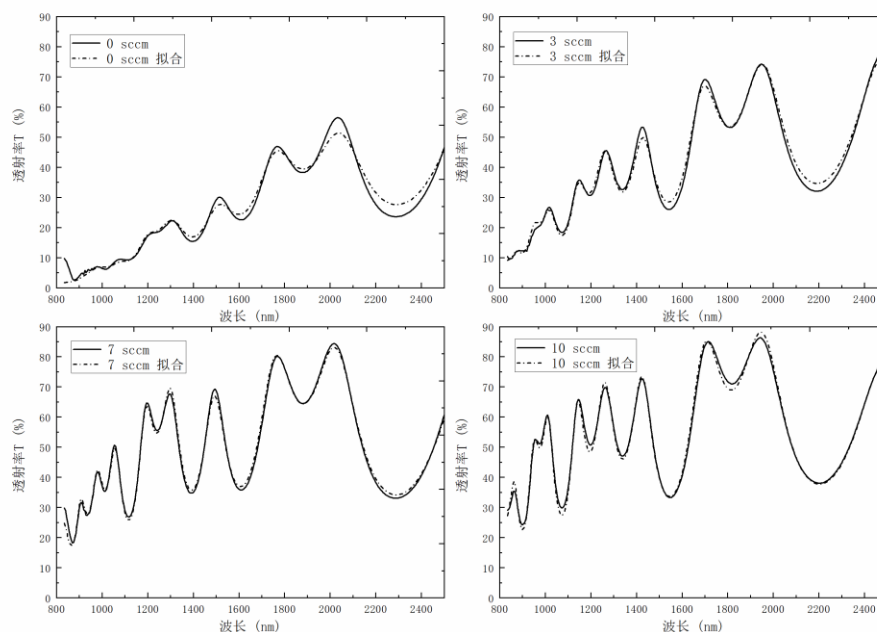


图 4 氢气流速分别为 0sccm、3sccm、7sccm、10sccm 的透射率拟合结果图

Fig 4 The fitting transmittance of hydrogen flow rate at 0sccm, 3sccm, 7sccm, 10sccm

根据 OJL 模型，分别拟合 0sccm、3sccm、7sccm、10sccm 氢气流速下的样品，拟合出来薄膜厚度如表 3 所示。

表 2 0sccm、3sccm、7sccm、10sccm 氢气流速条件下薄膜厚度 (Thickness)、带隙 (Band gap) 参数

Table 2 The fitted thickness of thin film at 0sccm, 3sccm, 7sccm and 10sccm hydrogen flow rate

样品	B4C 厚度/nm	Si 厚度/nm
----	-----------	----------

0sccm	1492.0	491.6
3sccm	1366.5	493.0
7sccm	1604.6	499.8
10sccm	1542.8	496.3

通过OJL模型还能得到不同氢气流速下碳化硼薄膜折射率 n 和消光系数 k 的值,如图5所示。从图5左上图中可以看出,3sccm氢气流速样品的折射率 n 是最高的,然后依次是0sccm、7sccm、10sccm。从图5右上图中可以看到,氢气流速从0sccm到10sccm过程中,碳化硼薄膜消光系数 k 曲线逐渐向下移动,这说明氢气可以降低碳化硼薄膜的光吸收系数。

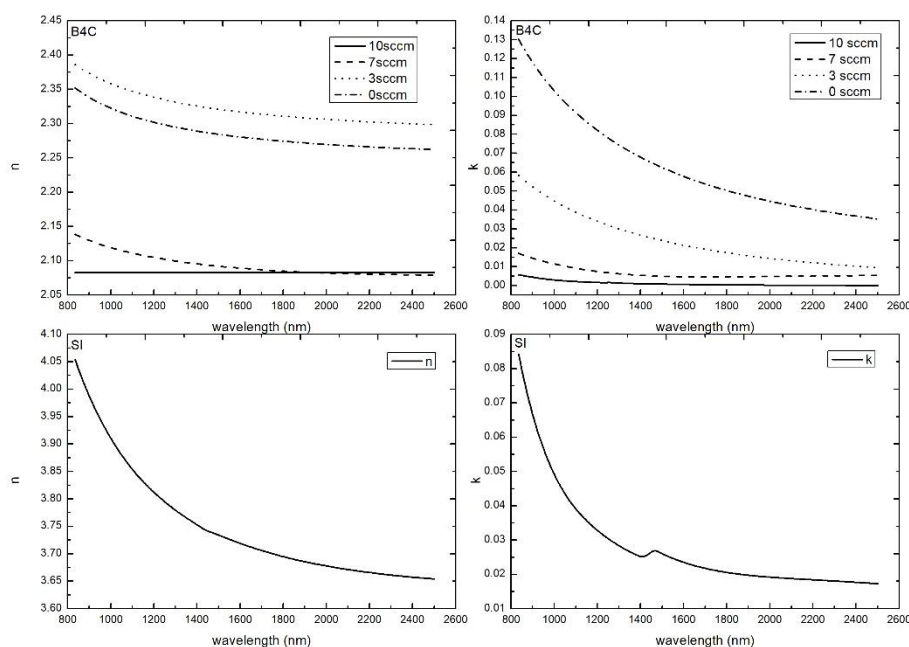


图5 不同氢气流速下,上面两图为碳化硼薄膜,下面为过渡层非晶硅薄膜,左为折射率 n 曲线图,右为消光系数 k 曲线图

Fig 5 Under different hydrogen flow rates, n and k results. The top two pictures are boron carbide films, the bottom is bond layer amorphous silicon film. The left is the refractive index n curve, and the right is the extinction coefficient k curve.

3.2 反应气体对碳化硼薄膜机械性能的影响

涂层的硬度和杨氏模量是由显微维氏硬度计(Vickers indenter) Fischerscope H100 测试仪器测定的。深度传感压痕技术是利用已知几何形状的压头在材料表

面施加已知载荷，然后分析载荷与位移数据。每个样本做了五个点，数据取平均值。最大压痕载荷为 50mN，加载卸载速率为 10mNs^{-1} 。脉冲直流溅射氢化非晶碳化硼薄在 3sccm 氢气流速下（其它类似）载荷与位移图如图 6 所示。根据该曲线，可以计算出刚度、杨氏模量以及硬度。

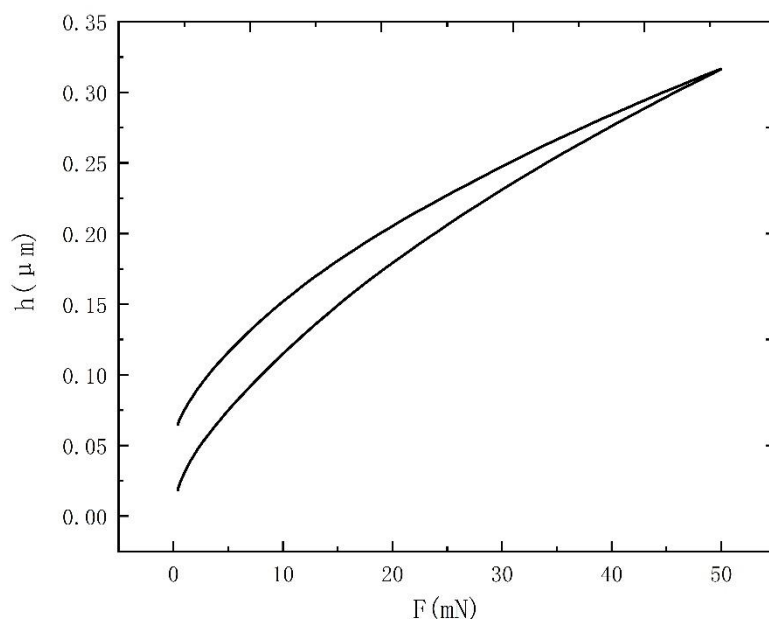


图 6 脉冲直流溅射非晶碳化硼薄膜载荷 F-位移 h 图（3sccm 氢气）

Fig 1 Load vs displacement diagram of pulsed DC sputtering amorphous boron carbide thin film (3sccm hydrogen flow rate)

从表 3 中可以看出，随着氢气流速的增加，维氏硬度在减少。硬度指的是固体材料抗拒永久形变的能力。这是因为氢气与碳化硼发生反应，会生成 C-H 结构，极少量的氢气会发生 SP3 杂化，使得硬度增加，但该实验中氢气较多，则发生 SP2 杂化，生成 C-H 聚合物，聚合物的硬度没有单体硬度高。

杨氏模量指的是弹性材料承受正向应力时会产生正向应变，定义为正向应力与正向应变的比值。公式为：

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5)$$

其中，E 为杨氏模量， σ 为应力， ε 为应变。从表 3 中我们可以看出，氢气流速的增加，杨氏模量在减少。为了从另一方面印证这个问题，我们使用圆晶几何

测量仪器测出样品的应力如表 3 所示，薄膜应力为负数则代表压应力。通过杨氏模量的定义式可以看出来，杨氏模量的变化趋势应该和薄膜应力的变化趋势保持一致，实验结果正是如此。

表 3 氢气流速下碳化硼薄膜的硬度和杨氏模量数值

Table 3 Hardness and Young's modulus of boron carbide thin films at 0sccm,3sccm,7sccm,10sccm hydrogen flow rate

氢气流速/sccm	维氏硬度/(kg/mm ²)	杨氏模量/Gpa	应力/MPa
0	3101	156	-1296.24208
3	1877	120	-1427.16608
7	1272	89	-907.203291
10	1213	91	-659.459194

4 结论

本文采用氢气为沉积辅助气体，用微波等离子体辅助脉冲直流溅射沉积了碳化硼非晶薄膜。为了提高碳化硼薄膜的性能，增加附着力，使用非晶硅薄膜作为过渡层。通过改变反应气体氢气的流速（0sccm、3sccm、7sccm、10sccm）制备了系列 B₄C 薄膜来研究薄膜光学性质以及机械性质对氢气流量的依赖性。薄膜的光学性质通过 XRD 和 FTIR 来表征，后续使用 CODE 软件进行光学拟合来得到薄膜的光学常数：折射率 n 和消光系数 k 。薄膜的机械性质使用维氏硬度仪来表征薄膜的杨氏模量和维氏硬度，以及使用晶圆几何应力测量仪器测量薄膜的应力。

通过透射光谱可知氢气流速增加，透射率曲线整体向上平移，透射率增加，这表明通过氢气制备法导致薄膜结构改变，从而影响材料对光的透射变化。XRD 测量结果表面本次制备碳化硼薄膜为非晶结构，用 OJL 模型进行光学拟合，拟合结果表明：氢气流速的增加，消光系数 k 在减少，这代表光通过该样品的损耗减少。而碳化硼薄膜在制备中常有的问题则是薄膜应力过大、易脱落的问题，通过力学测试可知，氢气制备法有效降低薄膜应力，使得薄膜不容易脱落，与此同时碳化硼这种高硬度材料还能作为器件保护材料。氢气制备出的碳化硼薄膜硬度会降低，这可能是由于部分的 C 同 H 反应生成 CH 聚合物，但在适当的降低吸收的情况下，氢气辅助沉积碳化硼薄膜仍具有足够的硬度。

参考文献:

- [1] Mohanty R M, Balasubramanian K, Seshadri S K. Boron carbide-reinforced aluminium 1100 matrix composites: fabrication and properties[J]. *Materials Science Engineering: A*, 2008, 498(1-2): 42-52.
- [2] Zhang G J, Ando M, Yang J F, et al. Boron carbide and nitride as reactants for in situ synthesis of boride-containing ceramic composites[J]. *Journal of the European Ceramic society*, 2004, 24(2): 171-178.
- [3] Weaver G Q. Sintered high density boron carbide: U.S.Patent 4320204[P].1982-3-16.
- [4] Postel O B, Heberlein J V R. Boron carbide thin film deposition using supersonic plasma jet with substrate biasing[J]. *Diamond Related Materials*, 1999, 8(10): 1878-1884.
- [5] Sabirianov I F, Brand J I, Fairchild R W, et al. The All Boron Carbide Diode Neutron Detector: Experiment and Modeling Approach[J]. *MRS Online Proceedings Library Archive*, 2006, 981(2006): 0981-JJ0906-0906.
- [6] Thevenot F. Boron carbide—a comprehensive review[J]. *Journal of the European Ceramic society*, 1990, 6(4): 205-225.
- [7] Toksoy M F. Densification of rapid carbothermal synthesized and commercial boron carbide by spark plasma sintering[D]. Rutgers: Rutgers University, 2014
- [8] Werheit H, de Groot K, Malkemper W. On the metal-insulator transition of boron carbide[J]. *Journal of the Less Common Metals*, 1981, 82(1981): 153-162.
- [9] Werheit H. Optical phonons of boron carbide depending on the composition[J]. *Journal of the Less Common Metals*, 1986, 117(1-2): 17-20.
- [10] Su M, Liao Z, Xie L, et al. Research chemical structure of boron carbide thin films deposited by electron beam evaporation[J]. *Journal of the Sichuan University(Natural science edition)*, 2014, 51(3): 563-564.
- [11] Zhang L, He Z, Li J, et al. Influence of sputtering power on components and mechanical properties of boron carbide films[J]. *High power laser and particle beams*, 2013, 25(9): 2317-2323.
- [12] Nordell B J, Keck C L, Nguyen T D, et al. Tuning the properties of a complex disordered material: Full factorial investigation of PECVD-grown amorphous hydrogenated boron carbide[J]. *Materials Chemistry Physics*, 2016, 173: 268-284.
- [13] Lin S H, Li D, Feldman B J. Microhardness, Structure, and Composition Study of Amorphous Hydrogenated Boron Carbide[J]. *Materials Chemistry Physics*, 1995, 383(1995): 127-132.
- [14] Eckardt T, Bewilogua K, Van der Kolk G, et al. Improving tribological properties of sputtered boron carbide coatings by process modifications[J]. *Surface Coatings technology*, 2000, 126(1): 69-75.
- [15] Daniels B, Brown D, Kimock F. Friction and wear performance of diamond-like carbon, boron carbide, and titanium carbide coatings against glass[J]. *Journal of materials research*, 1997, 12(9): 2485-2492.
- [16] Guruz M, Dravid V P, Chung Y-W. Synthesis and characterization of single and multilayer boron nitride and boron carbide thin films grown by magnetron sputtering of boron carbide[J]. *Thin Solid Films*, 2002, 414(1): 129-135.
- [17] 方容川. 固体光谱学[M].合肥: 中国科技大学出版社, 2001: 1-22.
Fang Rongchuan. Solid state spectroscopy[J]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2001: 1-22.
- [18] 刘恩科, 朱炳升, 罗晋生. 半导体物理学[M].北京: 国防工业出版社, 1994: 5-15.
Liu Enke, Zhu Bingsheng, Luo Jinsheng. Physics of semiconductor[M]. Beijing: National Defence Industrial Press, 1994: 5-15.
- [19] Street R A. Disorder effects on deep trapping in amorphous semiconductors[J]. *Philosophical*

Magazine B, 1984, 49(1): L15-L20.

[20] Lucarini V, Saarinen J J, Peiponen K E, et al. Kramers-Kronig relations in optical materials research[M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2005: 2-30.

Infrared optical and mechanical properties of boron carbide thin films deposited by hydrogen-assisted pulsed dc sputtering

**RUTING CHEN¹, SHIGENG SONG², LEWIS FLEMING², SAM AHMADZADEH²,
HIN ON CHU² , XIAOLING ZHANG³**

(1.School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710061; 2. School of Computing, Engineering and Physical Sciences, University of the West of Scotland, Paisley PA12BE, UK; 3.Teer Coatings Ltd, West Stone House, West Stone, Berry Hill Industrial Estate, Droitwich, Worcestershire, WR9 9AS, UK)

Abstract: In this study, boron carbide thin films were deposited by microwave plasma-assisted pulsed dc sputtering system with hydrogen as reactive gas at different hydrogen flow rates. The design thickness of boron carbide thin film is 1200nm, and the design thickness of transition layer amorphous Si is 500nm. The substrates used were microslides, Ge, Si, Si wafer, GaAs and JGS3. Then, Fourier infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD) and Vicker indenter were used to analyze the effects of hydrogen flow (0sccm, 3sccm, 7sccm and 10sccm) on the optical and mechanical properties of boron carbide thin films. As the results, the infrared optical transmittance and absorption rate could be improved by increasing the flow rate of hydrogen. At the same time, the increase of hydrogen can also reduce the stress of the coating, making it easy to adhere to the substrate. However, hydrogen reduces the hardness of boron carbide thin films.

Key words: boron carbide thin films; Infrared optical properties; mechanical properties