

Application and Research Progress of BN Composites

Yan Deng, Li Cai, Juying Zhou, Hongju Luo, Ting Zhang*

Information Management College of Humanities, Chengdu Medical College, Chengdu Sichuan
Email: dengyan9512@163.com, *624974549@qq.com

Received: Dec. 26th, 2016; accepted: Jan. 10th, 2017; published: Jan. 13th, 2017

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In this article, starting from the excellent properties of Boron Nitride composites, we summarized the application of Boron Nitride composites in the recent decades; referred to the department of Boron Nitride composites preparation method; analyzed the Boron Nitride dielectric properties of composite materials and introduced the research progress.

Keywords

BN Composites, Application, Dielectric Properties, Research Progress

BN系复合材料应用及其研究进展

邓 艳, 蔡 莉, 周菊英, 罗红菊, 张 婷*

成都医学院人文信息管理学院, 四川 成都
Email: dengyan9512@163.com, *624974549@qq.com

收稿日期: 2016年12月26日; 录用日期: 2017年1月10日; 发布日期: 2017年1月13日

摘 要

本文从氮化硼复合材料的卓越特性出发, 概括了近几十年来氮化硼复合材料的运用领域, 提及了氮化硼
*通讯作者。

系复合材料的制备方法，还分析了氮化硼系复合材料的介电特性，介绍了其研究进展。

关键词

BN基复合材料，应用，介电特性，研究进展

1. 前言

随着高新科技的发展与壮大，复合型材料在我们生活中随处可见且其作用非常大。其中 BN 系复合材料的运用范围十分广阔，其性能特征已经变成近些年关注的焦点。BN 材料具有易加工、耐高温、抗氧化、较高的电阻率、良好的介电性能、与多种金属不浸润等优良的特性[1]。尽管有诸多优点，但单一相的 BN 材料自身还是存在着一些缺陷，而复合材料的优良特性则可以弥补一些不足之处[2]。将 BN 作为基础制成复合材料，不但能发挥 BN 陶瓷的优势，而且能弥补单相 BN 陶瓷材料的机械特性偏低，抗雨蚀性差，很难制成形状较大的构件等不足，得到具有卓越综合特性的复合材料，用于高温陶瓷材料、高性能航空材料、抗氧化涂层材料等领域[3]。但引入复合材料后材料的性能变化，特别是介电特性，必须研究清楚才能使材料得到广泛的应用。材料的介电特性是指在一定的电场环境下，所展示的一种对静电能的储蓄和损耗的性能，一般用介电系数和介质损耗表达。杜帅[4]、张鹏飞[5]等人对 BN 系复合材料做了比较细致的研究，得出了一系列结论。然而，他们的研究都仅仅是针对某一种复合材料进行了较为细致深入的研究，缺乏对 BN 系复合材料整体性质的一个描述。本文则是对 BN 系复合材料的应用及其研究进展做一个总体的概括。

2. BN 基复合材料的概念、常见的使用范畴

BN 基复合材料是指以 BN 为主要组成成分，再与一种或更多组分材料结合在一起，形成的比原组分材料更加优良的复合材料。复合材料的组成成分和相对含量由人工设计后合成，保留了组分材料优良的性能，抑制了不希望出现在复合材料中的性能，使人工复合材料的整体性能超过其组分材料。

BN 基复合材料具有多种优良性能，具体包括以下几个方面：

- ① 机械特性：不磨蚀、低磨耗、耐火；
- ② 电气特性：介电常数小、介电损耗低；
- ③ 热力特性：高热传导、低热膨胀；
- ④ 化学特性：抗腐蚀、抗氧化、低密度；

以 BN 为主要组成成分制成的复合陶瓷材料又具有机械性能高、抗雨蚀性好等优点[2]。到现在为止，制造 BN 复合材料比较常见的方法包括高温烧结技术、溶液浸涂技术与先驱体浸渍裂解技术[4]。通过这些方法，制得如图 1 所示最优组合，即为 BN 基复合材料。

现代 BN 基复合材料常见的应用领域有 AlN-BN 复合陶瓷，天线窗介电耐热材料，氮化硼填充导热绝缘复合材料，高超音速导弹天线罩透波材料等。

3. 常见 BN 复合材料的应用

3.1. AlN—BN 复合陶瓷材料

杜帅[4]等人通过实验发现 AlN—BN 复合陶瓷材料在低频作用时，介电系数、介电损耗会随着温度的变化而产生很大波动，且在室温附近时，其介电系数、介电损耗达到最高。按照 Kingery 空间电荷极

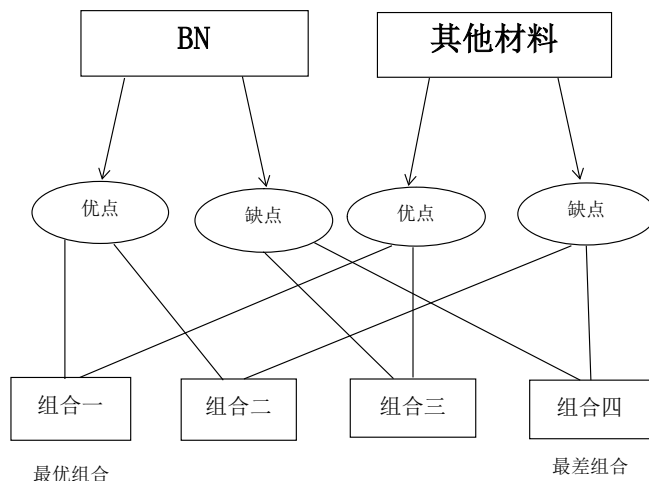


Figure 1. Composite material composition diagram
图 1. BN 复合材料组合示意图

化理论[6]，空间电荷极化弛豫时间取决于两晶相电阻率的乘积，许多研究表明半导体材料两晶相电阻率的乘积不够大，在室温条件下的空间电荷极化现象显著。实验证明 AlN—BN 复合陶瓷的室温极化特性则与半导体材料有类似之处，所以 AlN—BN 复合陶瓷具有半导体特性。

3.2. 集成电路及微波管中的应用

如果希望材料在应用时尽量达到一种理想的状态，即功耗最低。就要求材料不但要具有优异的导热率性能，还应有较小的介电系数和介电损耗，这样才能使材料的功效发挥到最大。如陶瓷材料在集成电路及微波管中的应用中，介电性能和导热性能就有着较为重要的作用，尤其是在微波管中，陶瓷材料在高频微波作用下甚至温度的作用下，介电性能对材料功能的影响非常大，其输出功率主要受到介电损耗性能的影响。所以某些材料可以通过降低介电系数和介电损耗，来提高其某些方面的应用特性。

3.3. BN 天线窗

BN 是一种升华性质的材料，其升华温度大约为 3000℃，其热导率也较大，故再入时其烧蚀表面温度高，因而其高温介电性能不好[7]。在再入条件下，BN 天线窗则会出现明显的信号减弱现象，如果能够制成一定条件下的 BN 复合材料，就能将该 BN 复合材料应用在减小再入时 BN 天线窗天线信号的衰减方面。

3.4. 高超音速导弹天线罩

BN 复合材料也应用在高超音速导弹天线罩[8]方面，导弹在浓厚的大气层中航行时，空气遭受猛烈的压缩与强烈的摩擦作用，会出现“空气动力加热”的现象。伴随导弹马赫数的增加，气动加热非常明显[9]。如果要使罩内维持正常工作状态，需要在导弹雷达导引头天线外面安装一个高超音速导弹天线罩，但“气动加热”现象的存在使得它对材料各方面性能的要求要比一般导弹天线罩更为严格，不仅要求材料具有较高的力学性能，优异的介电特性，还应具有良好的抗烧蚀特性。迄今为止，连续纤维增强陶瓷基透波复合材料[9]综合性能很好，也是最符合这些条件的天线罩材料，所以应用最为广泛。

3.5. 其它方面的应用

随着社会的发展，高导热绝缘聚合物基复合材料也变成了很多学者钻研的重点。其中就有以氮化硼

为填料的导热塑料、导热橡胶。氮化硼为填料可以在提升基体的导热性的基础上，还能保持复合材料的电绝缘特性[10]。所以聚合物基导热复合材料具有优异的耐腐蚀性，在航空航天、能源利用、工程技术等领域具有较大的运用。

4. BN 系复合材料与其介电特性研究进展

BN 系复合材料因具有多种优良性能，故而在科学领域得到广泛的应用，如：国防和航空航天等重要领域，其也因此变成各国争相探究的热点之一。本部分将分两个部分介绍，即国内和国外的 BN 系复合材料介电性能的研究进展。

4.1. BN 系复合材料在国外的研究进展

100 多年前，位于美国的贝尔曼的实验室最早发现了 BN。但直到 20 世纪 50 年代后期该材料才得到较为广泛的应用。1842 年，人类发现了一种化合物—氮化硼(BN)陶瓷；第二次世界大战后，国外对 BN 材料进行了大量的研究工作，到 1955 年已经解决了 BN 热压方法，此后 BN 材料开始大规模地发展。

20 世纪中后期，位于美国的金刚砂公司开展了以 B_2O_3 纤维为先驱体，用以制作 BN 纤维的研究，开启了 BN 纤维研究的大门，随后日本、中国等国家也开展了关于 BN 纤维方面的研究[11]。随着时代的进步，BN 复合材料的研究手段有了很大的飞跃。如今，国外科学家 Paquette 成功的以烧结法制备了介电常数为 4.5~7.0 的 Si_3N_4 、BN、 SiO_2 复合材料，损耗角正切小于 0.01；其他的科学家 Place 等将 3DBN_f/BN 复合材料浸渍先驱体二氧化硅，经过热压、烧结技术制备得到 BN_f/BN- SiO_2 ，其介电常数在 3.20 到 3.24 之间[12]。Zhi Chunyi 等研究了 EP/BNNTS 复合材料的介电特性和导热特性，当 BNNTS 的质量分数为百分之五时，此材料的介电系数低于纯净 EP，并且介电损耗的波动不大[13]。

Janet Hurst 和 David Hull [14]等人于 21 世纪开展了为工程应用的氮化硼纳米管的合成的研究，而在美国国家航天局格伦研究中心，已经运用各种化学气相沉积法、电弧放电等技术，制备出了氮化硼纳米管。国外 BN 系复合材料的研究还在持续进行，除了介电性能方面的研究，如何实现 BN 基复合材料的低成本化、多功能化和工程化，也是以后的研究方向之一。

4.2. BN 系复合材料在国内的研究进展

国内的研究比国外晚了 100 多年，我国从 1963 年开始 BN 粉末的研究，经过 3 年的时间使其成功问世，并于 1967 年投入生产，其后应用于我国工业和尖端技术之中。

20 世纪九十年代，李龙士等人于通过实验，研究了 ALN-BN 复合陶瓷的介电性能在频率和温度方面的特性，得到了如下的结论：1) 空间电荷极化机理是 ALN-BN 复合陶瓷的主要极化机理；2) ALN-BN 复合陶瓷的介电性能的频率特性具备部分半导体所具有的特征[4]。

中科院金属所在 1900℃条件下以 BCl_3 为硼源、 NH_3 为氮源，使用感应炉制备出了六方氮化硼(h-BN)夹持杆，纯度可到 99.99% [15]。

程瑜等人在 21 世纪研究了二维碳/碳-氮化硼复合材料的力学特性与介电特性，通过对其进行多方面的实验观察，总结出了 CVI [16]时间对 2DC/C-BN 复合材料的力学特性和介电特性所存在的影响，结论为：随着 CVI 时间的累积，材料密度进一步得到提升，从而使材料的强度也得到提升，力学特性变好。除此之外，材料的介电损耗因子也有所降低，原因是其反射损耗被降低了。而在郭圣波、王为名[17]对 BN 复合材料的制备和性能研究时，对 C/BN 复合材料的发展状况进行了分析，研究结果表明，C/BN 复合材料给设计和制作新型的拥有高耐热冲击性能的热匹配型蒸发原材料带来了非常大的可能。

此外，国内的大学也对复合材料做了研究。其中，国防科技大学是国内以聚硼硅氮烷为先驱体，采

取 PIP 技术制备 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ 复合材料的先驱, 经研究, 这种材料具有良好的热、电、力综合特性[18]。李斌等[19]经过自主设计并合成有机先驱体, 同样采取了 PIP 技术, 成功制作出了 3DSFRN, 其基底为含有少量氮化硅杂质的氮化硼, 通过研究, 其介电特性优越, 并且很稳定, 相对介电常数为 3.31 到 3.34 之间。

当然, 国内对 BN 系复合材料的研究远不止于此, 正是有了这些前辈的杰出研究, 我们后辈才可以得以借鉴。现在, 国内对 BN 系复合材料的研究势头正愈来愈烈, 所以中国必将在这方面取得更大的突破。

5. BN 系复合材料展望

氮化硼作为一种极为优越的陶瓷材料, 因其良好的力学特性和介电特性, 受到材料研究领域的珍视, 特别是在航空、航天、军事等高新科技方面, 有着独一无二的地位。但就氮化硼单质而言, 单相 BN 陶瓷材料存在机械特性偏低、抗雨蚀性差、较难制成大形状器件等不足[20]。所以需要一系列合成技术来制成 BN 系复合材料用以弥补其缺点。然而因为现在的合成技术条件艰苦, 所以在某些方面降低了氮化硼材料的运用。但随着复合材料制备工艺的进步和发展, 其众多的优异性能必将在复合材料中得到进一步发掘和利用。BN 复合材料必然会向着低制备成本、高性能、可设计性强、产业化等方面发展, 并凭借其独特的性能优势与应用潜力, 变成新型复合材料研究的重要目标。并且伴随着对纳米材料日渐加深的研究, 纳米氮化硼的应用将会更加普及。所以在研究氮化硼合成方面, 必定会向着低温低压(LTLP)及纳米化的方向发展[21]。

6. 结束语

本文仅仅对氮化硼基复合材料的应用领域、介电性能和研究进展做了简单的描述, 也是对前人的研究成果进行了大致的总结。作为具有极其强大性能的复合材料, 氮化硼系复合材料已变成各国探究的热点, 随着科研技术不断发展壮大, 以及氮化硼基复合材料在军事和航天等领域所扮演的重要角色, 氮化硼基复合材料的研究还会不断地持续下去。

致 谢

四川省教育厅基金(批准号: 13ZB0092)。

参考文献 (References)

- [1] 顾立德. 氮化硼陶瓷[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987: 1-7.
- [2] 高世涛, 张长瑞, 刘荣军, 曹英斌, 王思青. 氮化硼复合材料研究进展[J]. 硅酸盐通报, 2013, 32(5): 872-877.
- [3] 李斌, 张长瑞, 曹峰, 等. 碳纤维增强氮化物复合材料的制备及其烧蚀性能[J]. 新型碳材料, 2010(1): 71-73.
- [4] 杜帅, 李龙土, 刘征, 高陇桥, 李发. AlN-BN 复合陶瓷的介电性能[J]. 硅酸盐学报, 1997, 25(4): 433-439.
- [5] 张鹏飞, 张立同, 殷小玮, 程瑜, 贺加贝. 三维针刺碳毡增强碳/氮化硼复合材料的力学和介电性能[J]. 复合材料学报, 2010, 27(5): 15-20.
- [6] Kingery, W.D. (1976) Introduction to Ceramics. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- [7] 曾昭焕. 氮化硼的高温介电性能[J]. 宇航材料工艺, 1993(2): 17-21.
- [8] 姜勇刚, 张长瑞, 曹峰, 等. 高超音速导弹天线罩透波材料研究进展[J]. 硅酸盐通报, 2007, 26(3): 500-505.
- [9] 王国雄. 弹头技术[M]. 北京: 宇航出版社, 1993.
- [10] 秦丽丽, 王占京, 侯君, 等. 氮化硼填充导热绝缘复合材料的研究进展[J]. 北京: 北京化工大学材料科学与工程学院, 2013.
- [11] 张铭霞, 程之强, 任卫, 杨辉, 罗恒前. 先驱体法制备氮化硼纤维的研究进展[J]. 现代技术陶瓷, 2004, 25(1): 21-25.

- [12] 李瑞, 张长瑞, 李斌, 等. 氮化硼透波材料的研究进展与展望[J]. 硅酸盐通报, 2010, 29(5): 1072-1085.
- [13] 周文英, 王子君, 董丽娜, 睢雪珍. 聚合物/BN 导热复合材料研究进展[J]. 合成树脂及塑料, 2015, 32(2): 80-84.
- [14] Hurst, J., Hull, D. and Gorican, D. (2005) Syntjesis of Boron Nitride Nanotubes for Engineering Applications. *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, **26**, 95-102.
- [15] 葛雷, 杨建, 丘泰. 六方氮化硼的制备方法研究进展[J]. 电子元件与材料, 2008, 27(6): 22-23.
- [16] 程瑜, 殷小玮, 张鹏飞, 张立同. 二维碳/碳-氮化硼复合材料的力学和介电性能研究[J]. 材料热处理技术, 2010, 39(18): 75-78.
- [17] 郭圣波, 王为名. 高性能 C/BN 层状复合材料的研究进展[J]. 陶瓷学报, 2005, 26(4): 285-289.
- [18] 丁杨, 曹峰, 陈莉. 先驱体法制备氮化硼陶瓷材料的研究进展[J]. 材料导报, 2013, 27(5): 142-145.
- [19] 李斌. 氮化物陶瓷基底耐烧蚀, 透波复合材料及其天线罩的制备与性能研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 国防科技大学, 2007.
- [20] 张伟儒, 王重海, 刘建, 高芳, 范景林. 高性能透波 Si₃N₄-BN 基陶瓷复合材料的研究[J]. 硅酸盐通报, 2003, 22(3): 3-6.
- [21] 宁洪涛. 纳米材料合成及氮化硼的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2006.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ms@hanspub.org