

## 类金刚石膜用作负氢离子表面转化材料的可行性分析\*

李 建<sup>1,2</sup>, 童洪辉<sup>1</sup>, 但 敏<sup>1</sup>, 金凡亚<sup>1</sup>, 王 坤<sup>1,2</sup>, 陈伦江<sup>1</sup>

(1.核工业西南物理研究院, 四川 成都 610041; 2.成都理工大学工程技术学院, 四川 乐山 614007)

**摘 要:**负氢离子源已经成为核聚变装置中性束注入加热系统的首选离子源, 优异的负氢离子表面转化材料是其中的关键。金刚石膜具有的负的电子亲合势使其具有优异的二次电子发射性能, 进而使其成为可能的负氢离子源表面转化材料。在本论文中, 介绍了负氢离子源的结构、工作过程和工作模式, 在总结金刚石膜的二次电子发射理论和提高金刚石膜二次电子发射性能的方法的基础上, 分析了类金刚石膜成为负氢离子表面转化材料的可行性: 类金刚石膜以其同时具有的金刚石相和石墨相, 兼具良好导电性和优异电子发射性能。在未来的负氢离子源中, 类金刚石膜可能会成为用于负氢离子表面转化的优异可选材料。

**关 键 词:**核聚变; 负氢离子源; 表面转化材料; 类金刚石膜; 磁过滤阴极真空弧

中图分类号: O535

文献标识码: A

文章编号: 1002-0322(2020)04-0006-05

doi: 10.13385/j.cnki.vacuum.2020.04.02

## Analysis of Feasibility for Diamond Like Carbon Films Using as Negative Hydrogen Ions Surface Conversion Materials

LI Jian<sup>1,2</sup>, TONG Hong-hui<sup>1</sup>, DAN Min<sup>1</sup>, JIN Fan-ya<sup>1</sup>, WANG Kun<sup>1,2</sup>, CHEN Lun-jiang<sup>1</sup>

(1.Southwestern Institute of Physics, Chengdu 610041, China; 2.Engineering and Technical College of Chengdu University of Technology, Leshan 614007, China)

**Abstract:** Negative hydrogen ions sources are the preferred ions sources of the neutral beam injection system for the fusion apparatus, in which perfect negative hydrogen ion surface conversion material is the key problem. Diamond films have perfect secondary electron emission properties because of its negative electron affinity. In this article, the structures, working process and modes of  $H^-$  ions sources are introduced. The theory of secondary electron emission of diamond films and methods for enhancing the secondary electron emission properties are summarized. The feasibility of diamond like carbon films using as negative hydrogen ions surface conversion materials is analyzed. Diamond like carbon films have both diamond phase and graphite phase, which lead to the good electrical and electron emission properties. Therefore, in the future negative hydrogen ions source, it is expected that the diamond films may be the promising and optional surface conversion materials.

**Key words:** nuclear fusion; negative hydrogen ions sources; surface conversion materials; diamond like carbon films; filter cathode vacuum arc

核聚变是解决人类能源问题的重要方案, 中性束注入加热系统可有效地提高磁约束聚变装置中的等离子体温度。当前很多核聚变实验装置<sup>[1,2]</sup>, 包括我国的 HL-2A 和 EAST 装置<sup>[3,4]</sup>都使用中性束注入加热系统等。负氢离子源以其高稳定性、高中性化率成为中性束注入加热系统中最常用的离子源, 当前世界上许多著名实验室的中性束

加热系统上<sup>[5-7]</sup>首选负氢离子源。提高负氢离子源的性能是负氢离子源研究的核心问题。

负氢离子的产生主要有三种机制: 电荷交换机制、表面等离子体产生机制和空间产生机制。早期的负氢离子源按照电荷交换机制, 直接利用质子与原子或分子碰撞实现电荷转移, 产生负氢离子, 产生效率很低, 其负氢离子束流非常有限,

收稿日期: 2019-12-09

作者简介: 李建(1976-), 男, 吉林省公主岭市人, 博士生, 副教授。 通讯作者: 童洪辉, 研究员。

\* 基金项目: 国家自然科学基金重点项目(11535003); 国家自然科学基金青年基金项目(11805058); 成都理工大学工程技术学院院级基金项目(C122017040)。