

北京大学国产大晶粒铌材超导腔的性能研究*

郝建奎¹⁾ 赵夔 张保澄 全胜文 王莉芳 陈佳洱

(核物理与核技术国家重点实验室, 北京大学重离子物理研究所 北京 100871)

摘要 大晶粒铌材是射频超导领域的研究热点之一. 采用大晶粒铌材的射频超导谐振腔, 其后处理工艺可以大大简化. 北京大学对此进行了深入细致的研究, 自主研制了采用国产大晶粒铌材的射频超导腔, 对这些超导腔进行了简单的表面处理, 包括标准的化学抛光(BCP)和120°C低温烘烤处理, 未进行非常复杂的电抛光处理, 低温性能测试结果表明其低温超导性能优越, 大晶粒1.3GHz超导腔的加速梯度达到了43.5MV/m, 为我国超导加速器的国产化打下了基础.

关键词 射频超导 超导腔 加速梯度

1 引言

射频超导谐振腔可以工作在连续波(CW)模式或长宏脉冲模式下, 提供高的加速梯度^[1]. 由于射频超导的优异性能, 超导加速器越来越广泛地成为大科学工程的加速结构. 2004年全世界科学家达成共识, 将在全球建立一台TeV能量的国际直线对撞机(ILC), 并且决定采用射频超导加速结构. 射频超导加速腔是超导加速器的核心部件, 其性能直接决定了超导加速器加速的电子束的品质. 经过近几十年的发展, 解决了提高超导腔性能的一系列问题, 超导腔加速梯度和Q值不断提高. TESLA型超导腔已经可以达到35MV/m以上^[2], 达到ILC的要求.

超导腔表面后处理是决定超导腔性能的关键因素之一. 传统的超导腔后处理手段包括800°C和1200°C高温热处理、化学抛光(BCP)、电抛光(EP)、120°C低温烘烤(Bake)、高压水清洗(HPR)等, 其中电抛光装置复杂, 造价昂贵, 处理周期长. 大晶粒超导腔是近年来涌现的国际超导腔研究的热点之一. 采用大晶粒铌材制造的超导腔, 有可能省去电抛光过程, 只采用标准的BCP, 而加速梯度则能够与多晶铌材制造的超导腔相比, 同时还可以使铌板的冶炼制造过程简化.

国际上大晶粒铌材超导腔的理论和实验研究都还处于摸索阶段, 研究的单位主要有美国Jlab, 德国DESY^[3], 日本KEK等. 北京大学自2005年开始大晶粒铌材的研究, 取得了一定进展. 本文将对北京大学大晶粒超导腔的研究进展进行介绍.

2 北京大学大晶粒超导腔研究进展

2.1 大晶粒超导腔研制

北京大学自2005年开始, 与宁夏东方钨业公司进行合作, 同时聘请国外专家进行指导, 进行大晶粒铌材超导腔的研究. 经过大量研究, 研制出高性能大晶粒铌板, 残余电阻比在300以上, 其他各项指标均达到研制TESLA超导腔的要求. 图1为与东方钨业公司联合研制的大晶粒铌板.

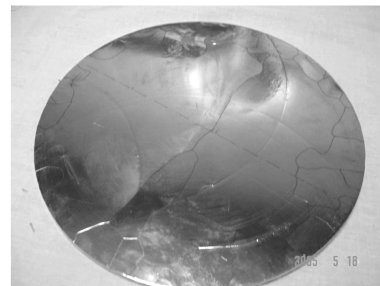


图1 东方钨业高性能大晶粒铌板

在大晶粒铌板研制成功的基础上, 北京大学开始进行大晶粒铌材超导腔的研制工作. 利用北京大学与美国Jlab实验室的合作关系, 采用国产大晶粒铌材, 与Jlab联合研制了1.5GHz大晶粒铌材超导腔. 在经过常规的BCP处理、120°C低温烘烤和1250°C高温处理后, 该超导腔的加速梯度达到36.6MV/m.

与此同时, 为使研究更具普遍性, 北京大学开始研制1.3GHz大晶粒铌材超导腔. 由于已经具有TESLA

2008-01-07 收稿

* 国家973项目(2002CB713600)资助

1) E-mail: jkhao@pku.edu.cn

型超导腔中间单元的冲压模具, 因此1.3GHz超导腔采用TESLA中间单元的形状. 在对大晶粒铌板进行了细致的机械抛光、化学抛光处理后, 经过冲压成形、精密机加工, 最后经过电子束焊接, 研制成功我国第一只1.3GHz单cell大晶粒铌材超导腔, 见图2. 同时与德国ACCEL公司联合研制成功2-cell大晶粒铌材TESLA型超导腔, 见图3.



图2 北京大学研制的1.3GHz大晶粒单cell超导腔

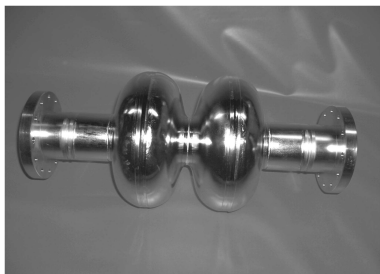


图3 北京大学研制的1.3GHz大晶粒2-cell超导腔

对研制成功的大晶粒单cell超导腔进行了常规BCP. 由于化学处理过程中可能会有氢吸附到超导腔表面, 引起超导腔 Q 值的下降, 为此需要对超导腔进行去氢处理, 采用的方法是进行800°C高温处理, 处理时间为3h, 然后在高温下退火回到室温.

2.2 1.3GHz大晶粒铌材单cell超导腔性能测试

大晶粒单cell超导腔研制成功后, 经过预处理, 在Jlab进行了低温性能测试. 超导腔经过1:1:1的BCP去掉70 μm , 然后进行了1h的HPR, 在超净室中晾干, 经过超净安装功率耦合探针后, 安装到低温测试平台, 进行了初步低温性能测试. 测试结果表明, 超导腔加速梯度达到了29MV/m, Q 值达到 9.0×10^9 , 在25MV/m以后出现 Q -drop. 为解决 Q -drop, 通常的办法是进行烘烤处理(bake)^[4]. 在120°C进行了12h的在线烘烤之后, 再次进行了低温测试. 经过bake后, 加速梯度达到32.5MV/m, Q 值达到 1.4×10^{10} , 如图4所示.

为进一步去除超导腔中的杂质, 提高超导腔的性能, 对大晶粒单cell超导腔进行了1250°C的高温热处理, 时间为3h. 在低温测试前总共进行了120 μm 的BCP处理. 高温处理后, 又进行了bake前后的性能对比实验. 低温测试结果表明, 经过1250°C高温处理和

12h 120°C烘烤后, 加速梯度达到了43.5MV/m, 最高加速梯度时 Q 值在 10^{10} 以上, 已经接近TESLA腔型的极限. 图5给出了经过1250°C高温处理后烘烤前后的低温测试结果.

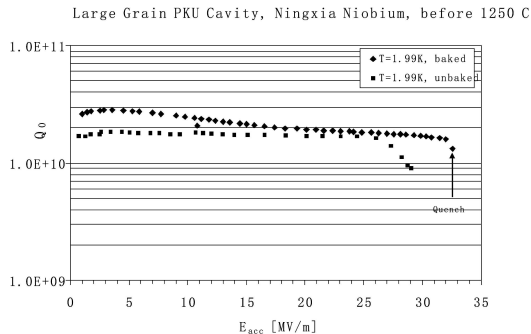


图4 北京大学1.3GHz大晶粒单cell超导腔低温测试结果: 1250°C高温处理前

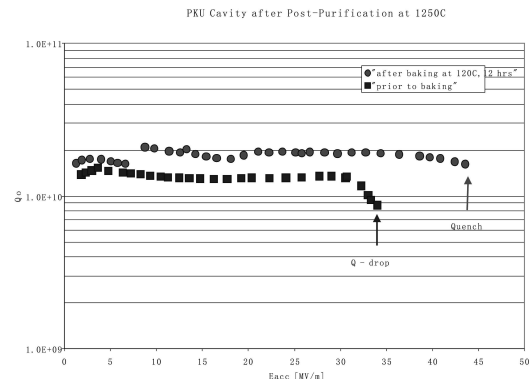


图5 北京大学1.3GHz大晶粒单cell超导腔低温测试结果: 1250°C高温处理后

上述大晶粒超导腔的表面处理均只采用了化学抛光, 没有进行昂贵复杂的电抛光. 实验结果表明, 采用大晶粒铌材的超导腔, 有可能省去电抛光过程, 这可以大大降低后处理的难度. 正是由于前述诸多优势, 大晶粒铌材超导腔在基于超导加速器的大科学装置上有广阔的应用前景. 目前对大晶粒铌材超导腔的研究, 尤其是多cell超导腔性能的研究刚刚起步, 还需进一步的探索.

3 总结与展望

北京大学在大晶粒铌材超导腔的研制工作中取得了一定成果, 研制成功1.3GHz大晶粒铌材单cell, 2-cell超导腔, 1.3GHz单cell大晶粒超导腔加速梯度达到43.5MV/m, 接近TESLA腔型的极限. 大晶粒超导腔测试结果表明, 采用大晶粒铌材制造的射频超导腔, 经过标准的化学抛光和热处理即可达到高的性能, 有可能省去昂贵复杂的电抛光过程, 这对于超导腔需求很大的大型科学工程来说具有重要的意义. 目前2-cell大晶粒超导腔的低温性能测试正在进行, 大晶粒9-cell

超导腔的研制即将开始.

感谢美国 Jlab 实验室的 P.Kneisel 博士为北京大学进行超导腔处理和低温性能测试.

参考文献(References)

- 1 Padamsee H, Knobloch J, Hays T. RF Superconductivity for Accelerators. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1998
- 2 Lilje L, Kako E, Kostin D et al. Nucl. Instrum. Methods A, 2004, **524**: 1—12
- 3 Singer W, Brinkmann A, Iversen J et al. Large Grain Superconducting RF Cavities at DESY, in Proc. of LINAC 2006, Knoxville, Tennessee USA, p327
- 4 HAO Jian-Kui et al. HEP & NP, 2005, **29**(9): 918—922 (in Chinese)
(郝建奎等. 高能物理与核物理, 2005, **29**(9): 918—922)

Researches on Large Grain SC Cavities at Peking University*

HAO Jian-Kui¹⁾ ZHAO Kui ZHANG Bao-Cheng QUAN Sheng-Wen WANG Li-Fang CHEN Jia-Er

(State Key Laboratory of Nuclear Physics and Technology, Institute of Heavy Ion Physics,
Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract Researches on large grain superconducting cavities are carried out at SRF laboratory of Peking University. A 1.3GHz TESLA type single cell cavity and a 1.3GHz 2-cell cavity made of large grain niobium were fabricated by Peking University. With the collaboration of Jlab, the measured Eacc of the single-cell cavity reached 43.5MV/m after BCP, baking and high temperature heat treatment.

Key words RF superconductivity, superconducting cavities, accelerating gradient

Received 7 January 2008

* Supported by Major State Basic Research Development Program (2002CB713600)

1) E-mail: jkhao@pku.edu.cn