

聚“磁”所需，创新研用 ——先进磁性材料分论坛侧记

文 / 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 徐 丹

磁性材料主要是指由过渡元素铁、钴、镍及其合金等组成的能够直接或间接产生磁性的物质。现代磁性材料已经广泛应用于人们的日常生活中，例如：用于马达的永磁材料，应用于变压器的铁心材料，作为存储器使用的磁光盘，计算机用磁记录软盘等。可以说，磁性材料与信息化、自动化、机电一体化、国防、国民经济的方方面面紧密相关。我国稀土永磁材料技术是全球的“领跑者”，产量占全球的85%以上，但生产技术水平与产品性能与发达国家仍有较大差距，自主创新能力亟待提高。

宁波素有中国“磁都”的称号，宁波磁性材料产业产量已超过全国总产量的40%，同时聚集了全国约22%的稀土永磁材料企业。2021年初，国家工信部公布了代表国内最高水准的25个先进制造业集群榜单，宁波磁性材料产业集群成功上榜。“2021新材料国际发展趋势高层论坛——先进磁性材料分论坛”于2021年10月18日在宁波香格里拉酒店顺利召开。本次分论坛由浙江大学、北京航空航天大学、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、中科三环股份有限公司、中国科学院金属研究所、天津工业大学、陕西师范大学、北京大学



刘仲武教授（右）
给刘剑研究员（左）颁发证书



闫阿儒研究员（右）
给马天宇教授（左）颁发证书

和杭州电子科技大学承办。中科院宁波材料所闫阿儒研究员、华南理工大学刘仲武教授担任主持人，参会报告人就高性能稀土永磁材料结构与微观调控、磁性材料关键制备技术、新型吸波材料的结构及应用、磁相变材料与器件、磁致伸缩材料的功能调控以及产业化发展情况进行了深入的探讨和交流。会议中，稀土永磁材料成为焦点话题，各参会代表热烈讨论，为磁性材料领域的创新基础研究和产业发展应用提供了参考。

精彩报告



方以坤教授



尹文宗高工



刘剑研究员

永磁材料是人类最早发现和应用，同时也是目前种类最多、发展最迅速的磁性材料。早期研究的一般永磁体材料以铝镍钴、铁氧体为主，稀土元素冶炼应用等手段的提升，极大地丰富了现代稀土永磁材料体系。钕铁硼永磁材料主要由钕、铁和其他稀土金属材料配比，通过冶炼合金及研磨烧结成型后制成。**钢铁研究总院方以坤教授**介绍了沉淀硬化型 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 型烧结永磁合金的制备及微结构研究。**西安交通大学马天宇教授**详述了高性能稀土钕铁硼材料微观测试分析工作，并通过应力提高析出相的形核率并加速原子扩散，为缩短高性能钕铁硼的制备流程提供了有效途径。稀土永磁Nd-Fe-B是最主要的稀土应用领域，年消耗我国近一半的稀土用量。**华南理工大学刘仲武教授**介绍了高矫顽力烧结钕铁硼永磁的标准工艺——晶界扩散技术在重稀土元素中的极致化应用。**中科院宁波材料所尹文宗高工**针对钕铁硼内禀磁晶各向异性相对较低、磁稳定性较差，难以满足高稳定性应用需要等关键问题作了专题论述，从材料设计的角度探讨了新型重稀土减量技术。发展。**浙江大学金佳莹副教授**介绍了使用高丰度稀土La，Ce和Y部分取代Nd，制备低成本高性能高丰度稀土永磁材料的手段。**北京航空航天大学王敬民副教授**研制出了兼具小角晶界和单向内应力的大尺寸（ $\phi 50\text{ mm}$ ）FeGa单晶材料，使FeGa单晶的磁致伸缩应变提高了30%，并将高性能铁基磁致伸缩单晶材料应用于新型换能器的研制。**中科院宁波材料所刘剑研究员**通过选择激光加工NiMnSn磁相变材料，重点梳理了其磁热、弹热及磁弹耦合热效应的相变特征，获得了多场施加路径策略下具有规则几何流道形状的高性能多卡制冷器件。



金佳莹副教授



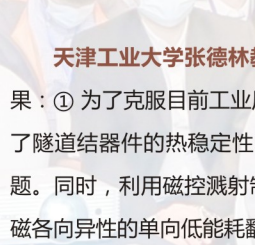
王敬民副教授



崔伟斌教授



马嵩研究员



张德林教授



胡鑫副研究员

东北大学崔伟斌教授指出，通过调控稀土层状碳化物的结构，并采用化学刻蚀的方法获得相应二维衍生物（MXene），最终可以获得稀土层状碳化物柔性自支撑膜。

中国科学院金属研究所马嵩研究员指出，设计各类具有良好电磁匹配的磁性纳米胶囊是零维壳核结构纳米吸波材料的核心问题。可以对其软磁内核与介电外壳进行灵活的结构与成分调控，通过人工设计与宏量制备，以介电石墨外壳与软磁过渡金属磁性合金为内核，形成的磁性纳米胶囊成为一种新兴的纳米吸波材料。介电外壳可以吸收电磁波交变电场，软磁内核吸收电磁波交变磁场，当两者在纳米尺度复合后，可以同步吸收交变电场与交变磁场、达到良好的吸波效果。

中科院宁波材料所满其奎研究员通过开发非晶/纳米晶软磁和高频稀土磁性材料等新型高频磁性材料，采用多级雾化方法制备超细球形粉体，设计和制造适应新材料的电感、吸波/屏蔽材料，为5G+通讯、物联网等新兴技术领域需求大量高效、高频、功能一体化的高端电子元器件提供技术支撑。

天津工业大学张德林教授主要围绕3个部分介绍了自己关于磁性隧道结和自旋轨道转矩器件的一些研究成果：①为了克服目前工业用界面垂直CoFeB隧道结的缺点，通过制备体相垂直的FePd薄膜及其隧道结，提高了隧道结器件的热稳定性。②制备了基于拓扑材料的两端式自旋转矩器件，解决了三端式器件密度低的问题。同时，利用磁控溅射制备了拓扑薄膜及自旋转矩器件，提高了自旋轨道转矩效率。③为了解决电场调控磁各向异性的单向低能耗翻转问题，团队研究了电场调控界面交换耦合效应，实现了双向低能耗电场翻转磁性隧道结，降低翻转电流密度。

杭州电子科技大学胡鑫副研究员介绍了其通过微纳磁结构设计及电磁特性调控制备微型化、集成化的电磁器件的工作。通过纳米图案化技术，设计应力的微区分布，进而实现磁畴方向的有效操控，在磁弹膜/柔性层之间制备纳米沟槽，实现微观应力的方向性缺失，进而利用局域化的磁弹耦合效应诱导了磁畴的自发排布。同时，微磁学模拟和表征进一步验证了这一微区磁弹耦合效应所带来的宏观磁性影响。