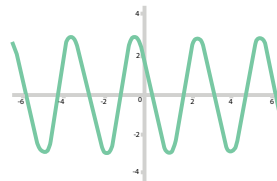
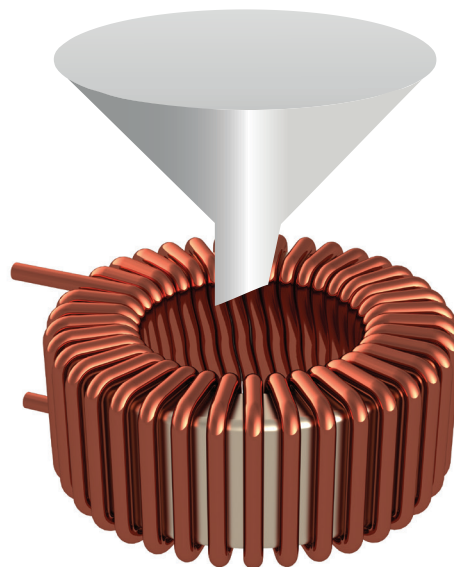
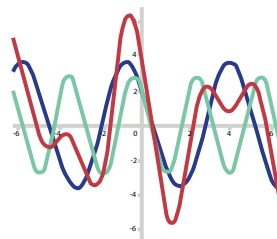


Niobium Nb

**纳米晶滤波器：  
小体积元器件  
噪声衰减的  
最佳解决方案**



与电力电子学中使用的传统材料相比，纳米晶滤波器具有更高的导磁率和更高的饱和磁通密度，元器件体积更小且支持更高的噪声衰减。

软磁材料在许多现代应用中发挥的作用不断演变和增长，包括电动汽车和可再生能源。这种材料在电力电子学中的作用是解决电磁噪声问题，这是一种常见的现象，可能会对电路操作造成干扰。多年来，许多新材料和新技术作为滤波器，以抑制电力电子系统和元器件中产生的过量电磁干扰 (EMI)，如图 1 所示。

最近开发的含有纳米晶铁芯的滤波器，与传统的铁氧体铁芯相比，能够提供更高磁导率和更低损耗。这些来自纳米晶芯的特性，让元器件制造能够采用更高密度设计，更加紧凑和轻量化，从而实现在更小的体积封装内提供更高的衰减能力。纳米晶铁芯还在更宽的频率和温度范围内提供更高水平的衰减，使其成为一系列应用更通用的解决方案。

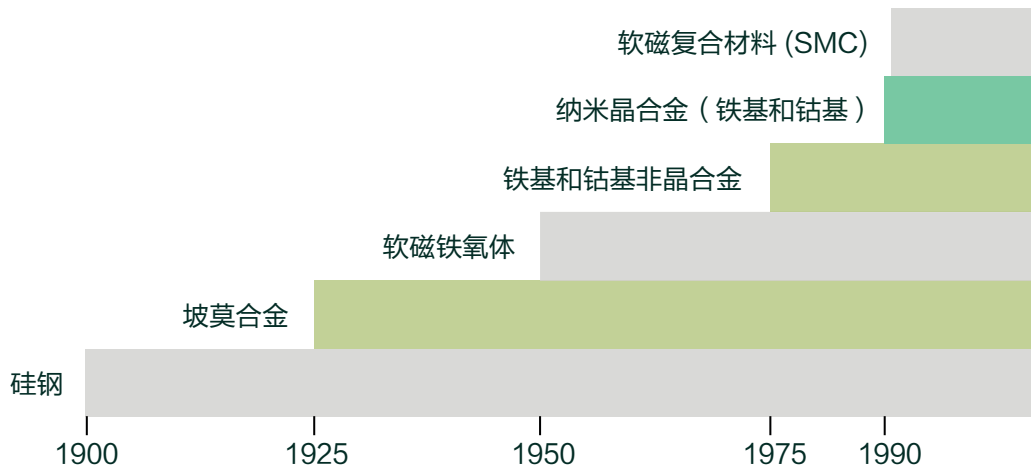


图 1: 软磁材料的历史发展 (改编自 Josefina M. Silveyra, Enzo Ferrara, Dale L. Huber, Todd C. Monson 科学, 2018 年 10 月 26 日)。

# 制造及化学成分

第一种纳米晶合金于 1988 年首次投入商业生产，就性能而言，目前已经超过了所有传统的前辈。它们改善了现代元器件的效率、尺寸、重量和功率。

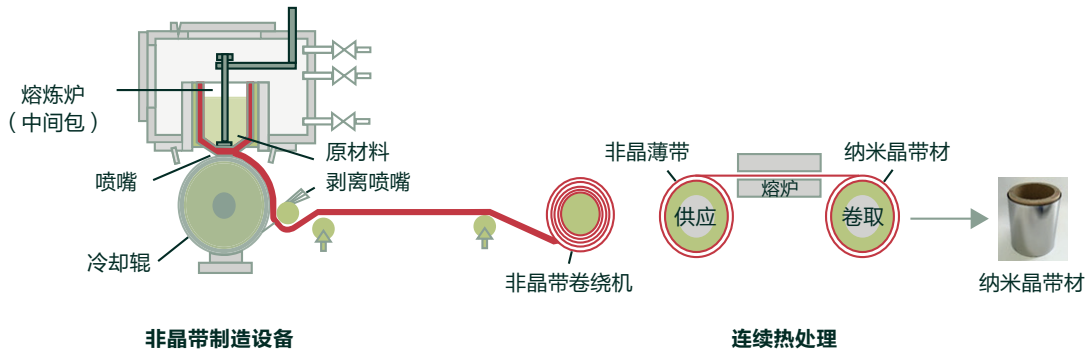


图 2：生产纳米晶带的非晶带制造及热处理流程。  
(来源：日本东北大学磁铁研究所)



图 3：纳米晶软磁材料的指示化学成分。

## 对于滤波器元器件，纳米晶软磁同时具有高饱和磁通和高相对磁导率。

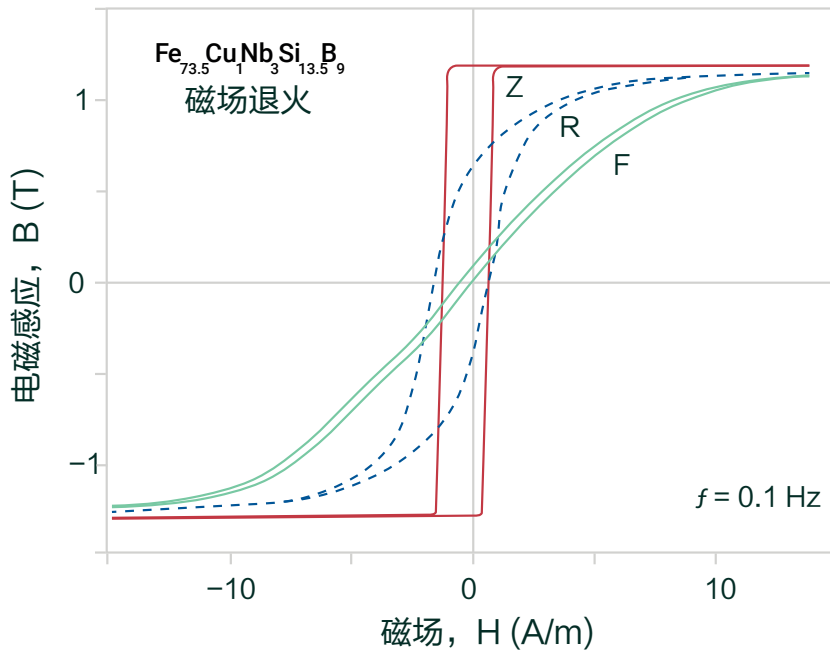
表 1：纳米晶软磁体的主要特点和优点概述

特性	效果
○ 高 $\mu_r$ ，高 $B_s$	○ 小铁芯尺寸
○ 磁稳定性	○ 磁性能随时间变化很小： 产品使用寿命更长
○ 非常低的磁致伸缩	○ 无声频噪音
○ 高居里温度， 磁性性质几乎与温度无关	○ 工作温度范围广
○ 低匝数高电感	○ 低功耗
○ 150 kHz 低 Q 因子； 优秀的宽带衰减	○ 单级滤波器小型化设计

得益于高相对磁导率  $\mu_r(\uparrow)$ ，纳米晶软磁材料具有较高的磁通密度  $B(\uparrow)$ ，即使是处于低外部磁场  $H(\downarrow)$  中也是如此。

$$\uparrow B = \uparrow \mu_r * \downarrow H$$

为了满足所使用的滤波器类型的要求，可通过纳米晶材料热处理来确定其磁性，见下图 4



退火:

Z - 纵向磁场

R - 无磁场

F - 横向磁场

图 4: 540°C 退火 1 小时纳米晶材料准静态滞后回路 ( Fe<sub>73.5</sub>Cu<sub>1</sub>Nb<sub>3</sub>Si<sub>13.5</sub>B<sub>9</sub> )。

(改编自 Herzer G. In: Buschow KHJ, 编辑。磁性材料手册, 卷 10。阿姆斯特丹: Elsevier Science BV; 1997)。

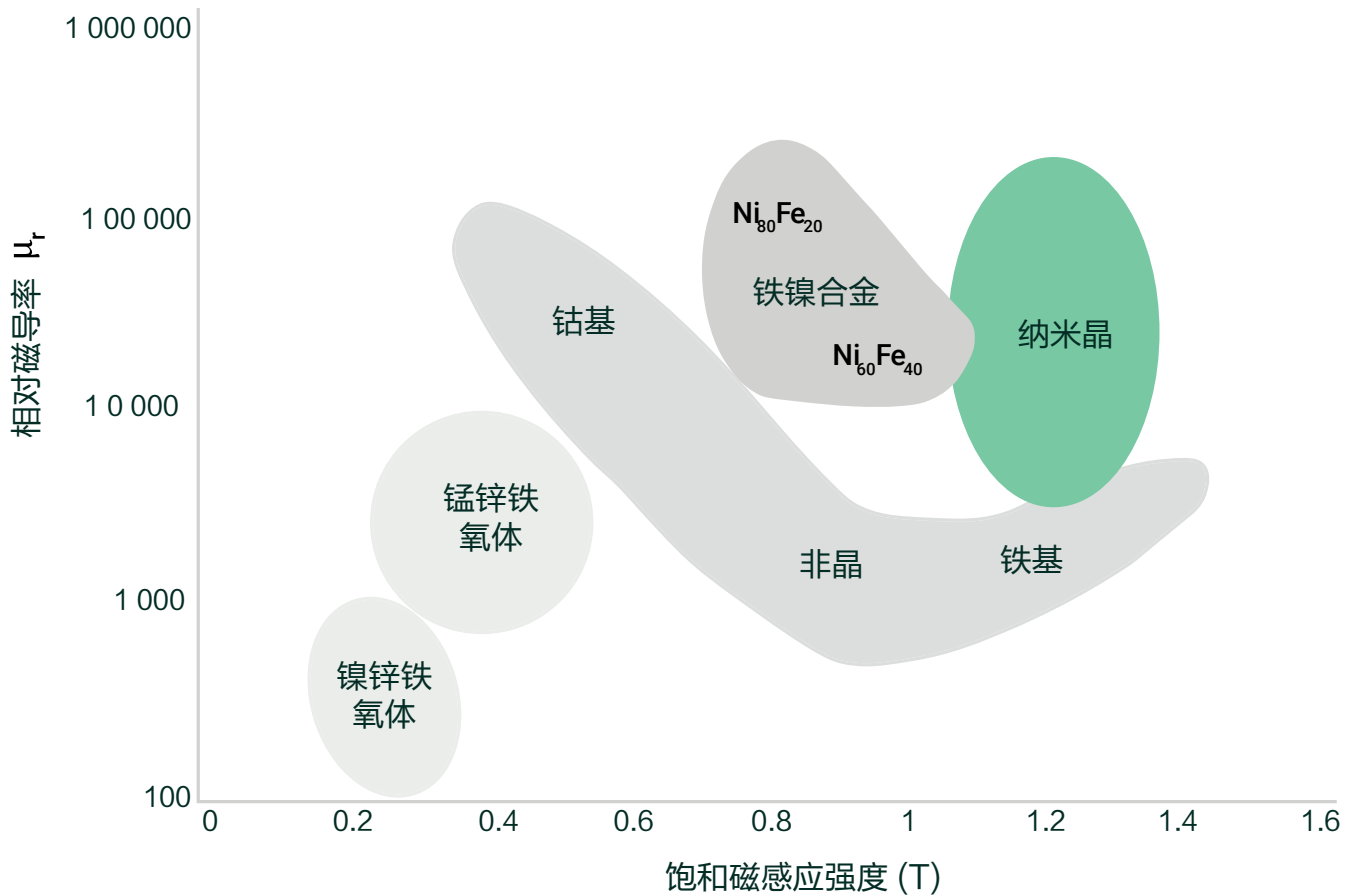


图 5: 软磁材料的相对磁导率与饱和磁通密度 ( M. Kacki, M. S. Rylko, J. G. Hayes 和 C. R. Sullivan, “电磁干扰滤波器磁性材料的选择”, 2017 IEEE 能源转换大会和博览会(ECCE), 2017, pp. 2350–2356, doi: 10.1109/ECCE.2017.8096456 ) 。

表 2: 纳米晶和铁氧体软磁材料的指示性性能比较。

特性*	纳米晶	铁氧体
饱和磁感应强度, $B_s$ (T)	1.25	0.5
相对磁导率, $\mu_r$	400,000	6,000
矫顽力, $H_c$ (A/m)	2	8
磁芯损耗, W/kg (100mT, 70kHz)	3	26
相对电阻, $\mu\Omega \cdot m$	1.2	500,000
居里温度, $^{\circ}C$	570	220
尺寸 - 纳米晶铁芯的重量和体积大约比铁氧体小 50%		

\*典型值

## 纳米晶软磁材料具有 更高、更稳定的相对磁导率 ( $\mu_r$ )

与锰锌铁氧体相比，纳米晶软磁材料具有较高的磁导率 ( $\mu_r$ ) 并且在较宽的频率范围内，磁导率受温度的影响要小得多，图 6。因此，纳米晶铁芯的体积可以减少到锰锌铁氧体大小的一半，同时在  $-40^{\circ}\text{C}$  至  $140^{\circ}\text{C}$  的工作温度下保持相同的性能。

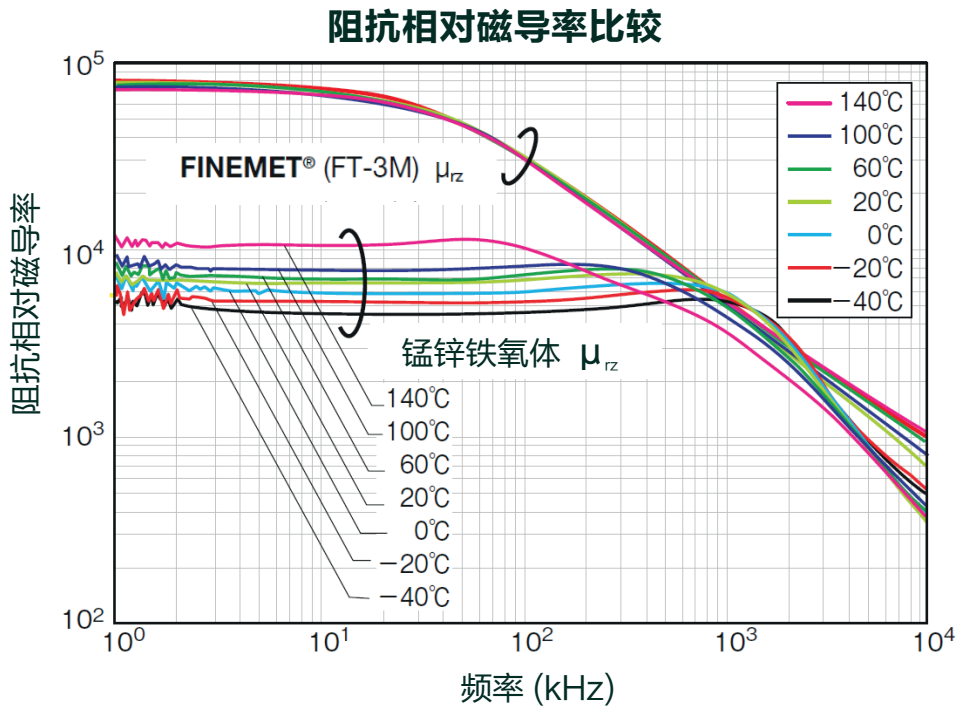


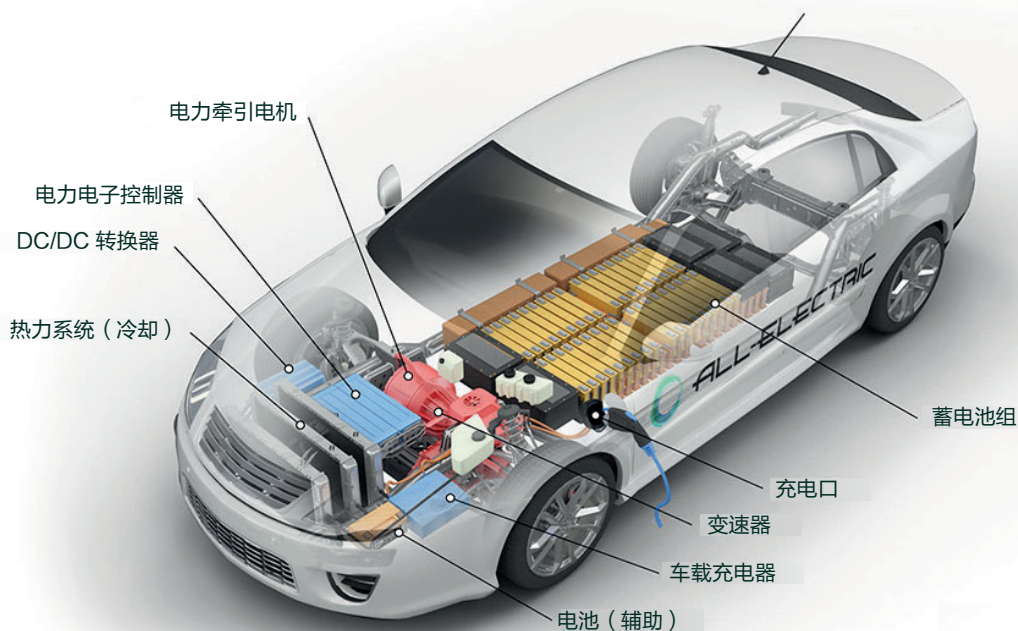
图 6：基于锰锌铁氧体和纳米晶 FINEMET 实验数据的相对磁导率和频率。图片由日立金属有限公司提供



# 纳米晶软磁材料如何支持新兴领域的发展

纳米晶软磁材料让多种产品实现小型化。包括电动汽车（图 7）和图 8 所示的其他应用。

## 电磁干扰源



afdc.energy.gov

图 7：电动汽车电磁干扰 (EMI) 的来源。来源：  
美国能源部 <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>

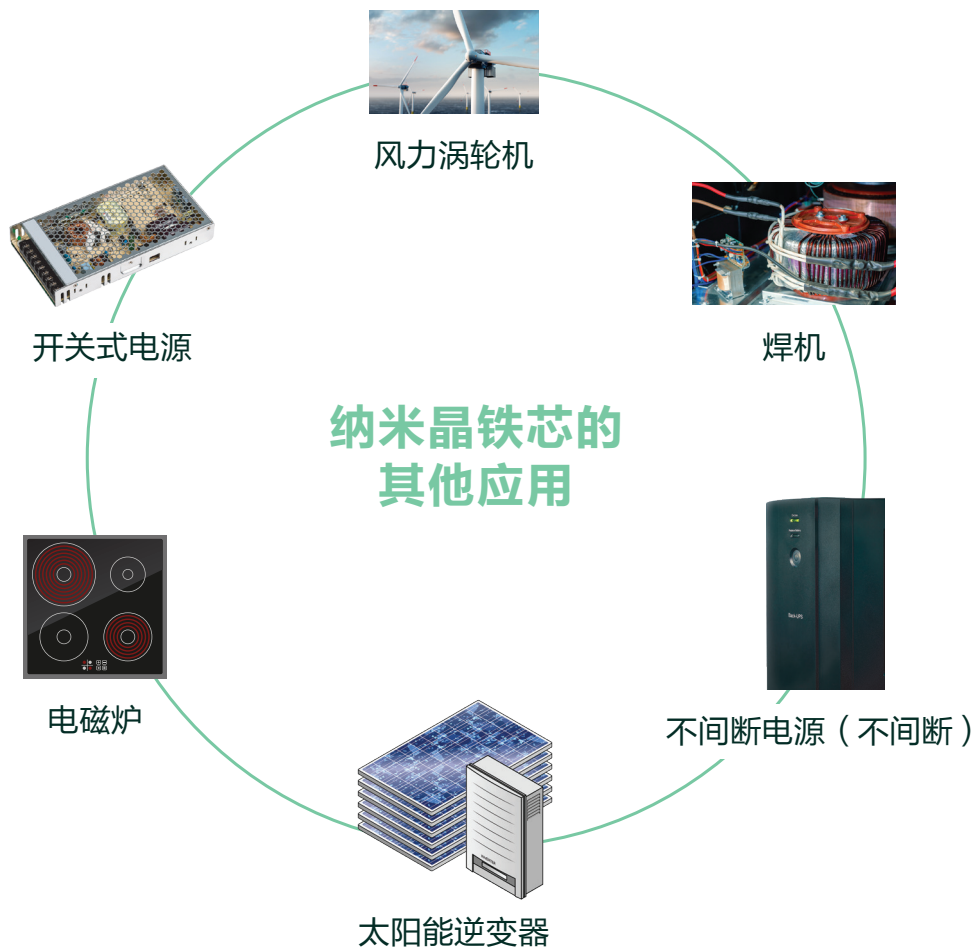


图 8：纳米晶软磁材料的其他应用。

如需了解更多信息，请联系 CBMM 技术专家，他们可以就如何在更小（更轻）体积包装中对滤波器使用纳米晶软磁材料以提供高衰减能力提供建议。

# CBMM | Niobium Nb

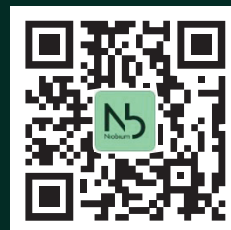
CBMM 是全球铌产品生产和销售的领军企业，客户遍及 40 多个国家/地区。公司总部位于巴西，在中国、荷兰、新加坡、瑞士和美国设有办事处和子公司，为基础设施、交通、航空航天及能源行业提供铌产品和尖端铌技术。CBMM 于 1955 年在巴西米纳斯吉拉斯州的阿拉夏成立，依靠强大的技术计划增加铌应用，不断促进该市场的发展与多样化。



铌科技公众号



铌科技+  
微信小程序



[www.niobium.tech/cn](http://www.niobium.tech/cn)  
铌科技官方网站

联系邮箱：[technology@cbmm.com](mailto:technology@cbmm.com)