

# 高频软磁材料发展现状及趋势浅析

杜阳忠

横店集团东磁股份有限公司软磁事业部, 东阳 322118

**摘要:** 电子变压器进一步小型化, 受制于磁芯体积, 减小磁芯体积为目前缩小磁器件尺寸的关键, 在电源中, 输出功率与工作频率, 工作磁场成正比, 同时功率损耗会造成电源急剧升温。因此, 开发高速低延时通信和智慧社会领域用高频低损耗软磁材料, 对于电子元器件的小型化、薄型化有重要的意义。

**关键词:** 高频软磁材料, 小型化, 高功率密度

随着硅基电力电子器件逐渐接近其物理极限值, 新型半导体材料发展迅猛。新型半导体材料主要是以砷化镓(GaAs)、氮化镓(GaN)和碳化硅(SiC)为代表的化合物半导体材料和以石墨烯为代表的碳基材料。作为第三代半导体材料的代表, 宽禁带材料SiC和GaN相对于前两代半导体材料具有可见光波段的发光特性、高击穿场强、更好的大功率特性、更加抗高温和高辐射等优势, 以更大的禁带宽度、电子饱和漂移速度更快为特点, 制造出的半导体器件具有优异的光电性能、高速、高频、大功率、耐高温和高辐射等特征, 在光电器件、微波器件和电力电子器件具有先天优势。

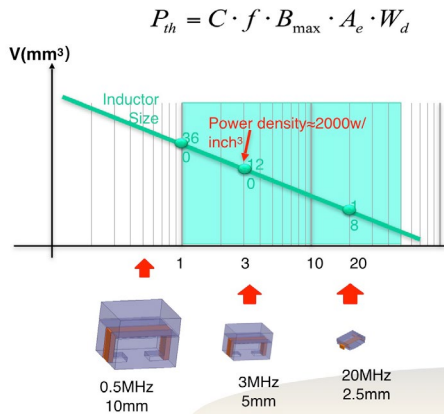
经过多年的发展和政府推广, GaN基的LED已经发展成熟, 但作为微波通信器件和电力电子器件, 还远远没有广泛被应用。GaN基的微波通信器件具有优于GaAs的高频特性和微波特性, 随着未来5G的大面积铺开, GaAs将不能满足这种高频特性需求, GaN将会大规模商用。作为电力电子器件, GaN相对于SiC具有相对低的高频损耗优势, 但是还不适合大功率下运行, 所以目前GaN只被广泛应用于低功率的如白色家电、电动汽车等领域的电源; 而SiC功率器件经过多年的发展, 在SBD器件中的应用技术已经成熟, 在MOSFET上测试性能突出, 在IGBT的应用被多家公司大量应用, 混合或全SiC功率模块已全面实现商业化。

随着半导体高频器件的成熟化, 为用户提供体积更小、更加节约能源的电子设备成为可能, 开关电源要实现更小

体积、更高效率。除了在拓扑上优化外, 提高开关频率, 是实现以上要求的一种可行方式, 通过使用氮化镓GaN的电路, 就可以获得高操作频率电路, 这样作为电力电子技术领域核心配套元件之一的磁器件的高频化就被越来越多的提上规划日程, 磁器件是现代高新技术领域中不可或缺的组成部分, 并广泛应用于变频空调、UPS、光伏发电、新能源汽车、电能质量整治等领域。下游应用需求向高效率、高功率密度发展, 电源设备高频化能力提升要求选择合适的磁性材料, 即电源设备必须具有高性能、大功率、大容量、环保性, 其核心方向就是通过电源功率开关器件的高频化能力提升来实现改善和解决。选择最合适的磁性材料来实现开关电源的大功率高频化, 通常需要在合适的磁导率条件下, 具备非常高的饱和磁通密度特性以及尽可能好的高频损耗特性等特点。国际上众多大公司如EPC、TI、Navitas、ON Semiconductor等都已推出基于GaN和SiC的功率控制芯片和半导体产品, 随着新一代的电子开关管被大量应用, 开关电源系统的频率必将由几百kHz跃升至MHz以上。

电子变压器进一步小型化, 还受制于磁芯体积, 减小磁芯体积是目前电子变压器缩小尺寸的另一途径, 特别是在大功率电源模块中。

而如下图所示, 磁芯损耗与工作频率, 工作磁场成正比, 且高的功率损耗会造成电源模块温度急剧升高, 因此在更高频下(500kHz以上)具有低损耗高Bs特性的材料成为了各家磁材厂开发的热点。



软磁复合材料种类繁多,能满足各种频率下电子元器件的设计需求,是目前得到电子业界公认的可调节性能最好的磁性材料,其或者具有高磁导率、低铁损、低矫顽力等特点,或者具有高饱和磁通密度、良好的频率特性、低损耗等优点。

软磁材料发展覆盖了铁氧体软磁、合金磁粉芯软磁、非晶/纳米晶软磁等多个领域,市场应用对软磁材料总的需求趋势是:宽温、高频、高Bs、低损耗、高导热系数、高居里温度,工作时随温度变化性能变化小且对模块化封装压力不敏感的软磁磁粉芯材料越来越被磁材厂家重视。

总体要求:材料设计使用频率为500kHz~1MHz,材料饱和磁化强度(Bs)最高设计值大于1.1T,材料损耗要求无限接近铁氧体,以满足电子器件小型化高功率密度的述求。

近几年,横店东磁在软磁铁氧体材料研究中积累了相当丰富的经验,超高频的新一代低损耗软磁铁氧体材料性能达到了:

$P_v \leq 1200 \text{ kW/m}^3$  (5MHz/30mT, 25-120 °C),  
Bs (100°C)  $\geq 430 \text{ mT}$ ,  $\mu_i$  (25°C) =  $750 \pm 25\%$

优化材料的配方,细化晶粒;高性能铁氧体材料配方的设计、烧结助剂的优化、高分散的超细铁氧体料浆的制备、最优预烧及烧结参数的确定。

横店东磁对软磁磁粉芯材料的研究和产业化也取得长足发展,目前在高频材料开发和商品化上也取得了重大进展,突破目标为: $P_v < 4000 \text{ mW/cm}^3$  (1MHz/100mT),

磁导率  $\mu$ : 26~60, 直流偏置特性 DC-Bias : L100Oe/L0 > 53% (@100Oe 外磁场, 磁导率  $\mu=60$ ), 材料 Bs > 1.1T。

高性能合金磁粉的配方设计、超细合金磁粉的制备、最优绝缘配方的调整及高密度成型参数的确定;铁氧体材料与合金磁粉的复合;

高频、低损耗软磁材料为目前市场急需的材料,尤其目前500kHz~1MHz高频材料受到市场高度关注,目前铁氧体高频材料在服务器、模块电源中的应用还是占据了主导位置,因为其高频下超低的损耗是磁粉芯材料无法达到的,但是随着合金磁粉芯材料高频损耗的不断突破,加上其天生优异的热传导能力,高频超低损耗合金磁粉芯材料必将成为未来市场的宠儿,特别是在目前国产芯片控制电路不稳定的情况下,高频磁粉芯电感比高频铁氧体电感能抵御更大范围的电流波动。

合金磁粉芯虽然在高频特性上已经有所突破,但是如何实现各种功率电感用异形合金磁芯的量产是又一大难题,我们知道现有的高频电感器用的是各种UI、EE、EI、EQ型磁芯,相对于传统的环形,成型难度不可同日而语,特别是高频低损耗的合金材料需要更细的合金粉末和相对更少的非磁性绝缘包覆剂,所以对于高频低损耗合金材料的绝缘包覆设备和成型设备的选择就显得至关重要,直接关系到最终性能的实现和量产的效率、成本,目前横店东磁采用的高效绝缘包覆烘干一体机和高速冲压成型技术处于业界领先水平。

### 结语:

随着5G应用和云计算对高速运算和大型数据交换的需求不断增长,软磁高频低损耗材料必将迎来一个大发展,业界重点要突破的是铁氧体高频低损耗材料的散热、抗饱和、耐封装应力问题和合金磁粉芯材料的高频损耗及量产成本问题。但是随着国家和企业对科技创新的不断加大投入,相信软磁高频材料肯定可以在助推未来5G通信及智慧社会领域大放异彩。