

正交实验制备基站天线移相器用陶瓷基板材料

吴坚强, 王群

(景德镇陶瓷学院, 江西 景德镇 333001)

摘要: 以 $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系氧化铝陶瓷为基础, 通过正交实验研究了 CaCO_3 、 MgCO_3 、 BaCO_3 和 ZrO_2 的添加量对该系统陶瓷性能的影响, 制备出基站天线移相器用 $\text{BaO}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 氧化铝陶瓷材料。XRD 结果表明, 所制陶瓷主晶相是 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, 未发现新相, 这些添加物形成了低共熔物, 起了促进烧结、降低烧结温度的作用。正交实验结果表明, 最佳添加量摩尔分数分别是 $x(\text{CaCO}_3)$ 为 0.006, $x(\text{BaCO}_3)$ 为 0.004, $x(\text{MgCO}_3)$ 为 0.009 和 $x(\text{ZrO}_2)$ 为 0.005, 其相对介电常数 ϵ_r 为 9.66, $\tan\delta$ 为 1.8×10^{-4} , 体积密度为 3.65 g/cm^3 , 抗电强度为 $25 \times 10^3 \text{ V/mm}$ 。

关键词: 天线移相器; $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 陶瓷; 添加剂; 正交实验

doi: 10.3969/j.issn.1001-2028.2010.06.010

中图分类号: TM28

文献标识码: A

文章编号: 1001-2028 (2010) 06-0031-03

Preparation of substrate ceramics used for phase shifter of base station antenna by orthogonal experiment

WU Jianqiang, WANG Qun

(Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333001, Jiangxi Province, China)

Abstract: Based on $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ system alumina ceramics, the effects of the additive of CaCO_3 , MgCO_3 , BaCO_3 and ZrO_2 on the performance of this system ceramic were studied by orthogonal experiment. The $\text{BaO}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ alumina ceramics used for phase shifter of base station antenna were prepared. The results of XRD indicate that, the main crystalline phase of the prepared ceramics is $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, new phases are not discovered, and the additive form the eutectic mixture to lower the sintering temperature. The results of the orthogonal experiment indicate that the optimal content of CaCO_3 , BaCO_3 , MgCO_3 , ZrO_2 are 0.006, 0.002, 0.009 and 0.005 (mole fraction) separately, and the optimal dielectric properties are obtained: $\epsilon_r=9.66$, $\tan\delta=1.8 \times 10^{-4}$, $\rho_v=3.65 \text{ g/cm}^3$, $E_j=25 \times 10^3 \text{ V/mm}$ 。

Key words: phase shifter of antenna; $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ceramic; additive; orthogonal experiment

电调天线是移动通信天线之一, 移相器是电调天线的核心器件, 陶瓷是移相器中不可缺少的一种材料。它要求陶瓷材料既要有较好的物理和化学性能、又要有优良介电性能。如3G通信基站电调天线用陶瓷基板, 应具备相对介电常数 ϵ_r 为 9.6~9.8, $\tan\delta < 4 \times 10^{-4}$, 抗电强度 E_j 大于 $25 \times 10^3 \text{ V/mm}$; 同时应具有高的机械强度和化学稳定性, 使之接收信号强, 达到高接收灵敏度的效果^[1-2]。

$\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系 95 氧化铝陶瓷(简称 95 瓷)的性能比较接近上述要求, 要解决的问题是提高瓷料的 ϵ_r , 降低 $\tan\delta$, 有效方法之一是在配方中加入一些添加物改善它的性能。笔者研究添加剂 CaCO_3 、 MgCO_3 、 BaCO_3 和 ZrO_2 的加入量对 95 瓷介电性能的

影响, 期望能改善性能满足基站天线移相器用陶瓷的需求。

1 实验

1.1 原料及工艺

实验原料如表 1 所示。

表 1 实验原料
Tab.1 The raw materials of experiment

材料名称	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	SiO_2	CaCO_3	ZrO_2	BaCO_3	苏州土
等级	工业级	分析纯	化学纯	分析纯	分析纯	手选 1 号
w/%	≥99.5	≥99.0	≥99.0	≥99.9	≥99.0	

陶瓷材料制备工艺流程为:
配料 → 球磨 → 烘干 → 加粘合剂 → 成型 → 烧成 → 被银、烧银 → 测量

实验中苏州土是经过淘洗的, 球磨是在 QM-ISP

行星磨中进行混合。造粒后的粉料装入直径 25 mm 钢模中, 在压片机上以 20 MPa 压力成型; 成型的圆片置于锆板上, 在箱式炉中分别以 1 620, 1 640 和 1 660 ℃ 烧成。

1.2 样品性能测定及显微分析

ϵ_r 的测定是用 ZL5 智能 LCR 测量仪测量样品的电容 C (pF), 然后根据公式 $\epsilon_r = 14.4Cd\Phi^{-1/2}$ [d (cm) 为厚度、 Φ (cm) 为直径] 求得 ϵ_r 。 $\tan\delta$ 是用 CJS-Z 电容器介质损耗测量仪直接读出。 E_j 用 YD5013 耐压测试仪测量。体积密度 ρ 采用阿基米德法测量。用 Y-4 型 X 射线衍射仪对样品进行相分析, 用 KYKY 扫描电镜进行显微分析。

表 2 第一批实验结果
Tab.2 The results of the first group experiments

实验号	因 素				实验结果		
	$x(\text{CaCO}_3)$	$x(\text{BaCO}_3)$	$x(\text{MgCO}_3)$	$x(\text{ZrO}_2)$	ϵ_r	$\tan\delta/10^{-4}$	$\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$
	A	B	C	D			
1	0.004	0.004	0.007	0.003	9.11	1.83	3.64
2	0.004	0.005	0.009	0.004	8.96	3.47	3.64
3	0.004	0.006	0.001	0.005	9.27	2.58	3.65
4	0.006	0.004	0.009	0.005	9.39	3.00	3.64
5	0.006	0.005	0.001	0.003	9.30	2.67	3.60
6	0.006	0.006	0.007	0.004	10.59	5.83	3.61
7	0.008	0.004	0.001	0.004	9.01	2.67	3.64
8	0.008	0.005	0.007	0.005	8.55	1.83	3.59
9	0.008	0.006	0.009	0.003	9.03	1.17	3.66
ϵ_r	ϵ_{r1}	27.34	27.51	28.25	27.44	主次顺序: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{BaCO}_3 \rightarrow \text{ZrO}_2 \rightarrow \text{MgCO}_3$ ϵ_r 最大配方组合: A2B3C1D2	
	ϵ_{r2}	29.28	26.81	27.38	28.56		
	ϵ_{r3}	26.59	28.89	27.58	27.21		
	\bar{K}_1	9.11	9.17	9.42	9.15		
	\bar{K}_2	9.76	8.94	9.13	9.52		
	\bar{K}_3	8.86	9.63	9.19	9.07		
$\tan\delta$	R	0.90	0.69	0.29	0.45	主次顺序: $\text{ZrO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{MgCO}_3 \rightarrow \text{BaCO}_3$ $\tan\delta$ 最大配方组合: A3B1C2D1	
	$\tan\delta_1$	7.50	7.97	9.49	5.67		
	$\tan\delta_2$	11.50	7.97	7.64	11.97		
	$\tan\delta_3$	5.67	9.58	7.92	7.41		
	\bar{K}_1	2.50	2.66	3.16	1.89		
	\bar{K}_2	3.83	2.66	2.55	3.99		
ρ	\bar{K}_3	1.89	3.19	2.64	2.47	主次顺序: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{BaCO}_3 \rightarrow \text{MgCO}_3 \rightarrow \text{ZrO}_2$ ρ 最大配方组合: A1B3C1D3	
	R	1.94	0.53	0.61	2.1		
	ρ_{v1}	10.93	10.92	10.84	10.90		
	ρ_{v2}	10.85	10.83	10.94	10.89		
	ρ_{v3}	10.89	10.92	10.89	10.88		
	\bar{K}_1	3.64	3.64	3.61	3.63		
\bar{K}_2	\bar{K}_2	3.62	3.61	3.65	3.63		
	\bar{K}_3	3.63	3.64	3.63	3.63		
	R	0.02	0.03	0.04	0.00		

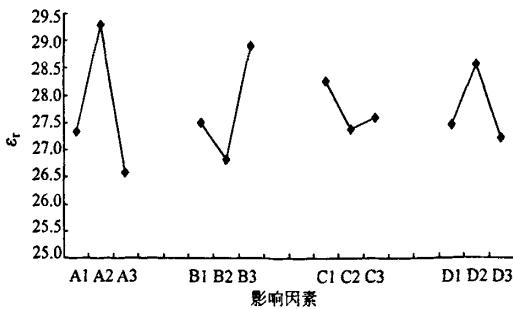


Fig.1 The tendency curves of various factors for the relative permittivity of the samples

2 结果与讨论

2.1 正交实验安排与结果

基础配方组成为: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, SiO_2 , CaCO_3 和苏州土的质量分数分别为 93.50%, 1.28%, 3.25%, 1.95%^[3-4]。把要加入的 BaCO_3 , MgCO_3 , ZrO_2 与 CaCO_3 作为因素, 选用因素水平表 L₉ (3⁴), 选取所需考查的指标为 ϵ_r , $\tan\delta$ 和 ρ ^[5-6]。第一批实验结果及分析如表 2 所示。根据笔者选取的指标对实验结果用极差分析得最优配方, 之后做优化实验, 即把较好配方重复实验。根据表 2 的实验结果, 各指标的影响趋势如图 1, 2, 3 所示。

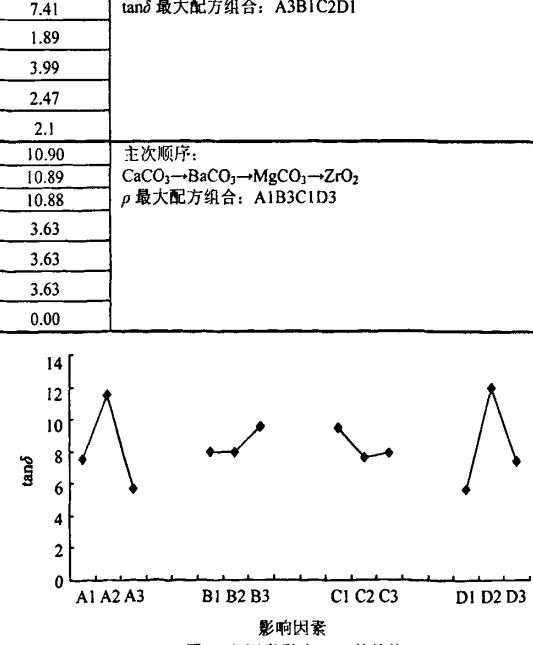


Fig.2 The tendency curves of various factors for the dielectric losses of the samples

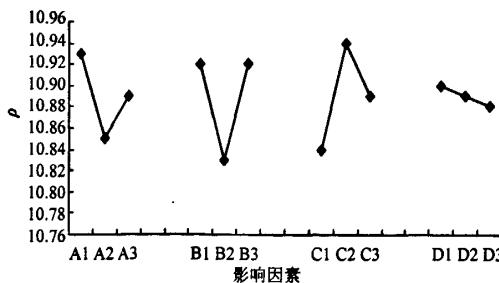


Fig.3 The tendency curves of various factors for the bulk density of the samples

从实验数据计算结果和图1、图2、图3可知,综合平衡选取最优制备条件为A3B1C2D1,这是因为对基站天线移相器用陶瓷材料而言,在保证合适的 ϵ_r 和 E_j 的前提下, $\tan\delta$ 是重要参数。

2.2 优化配方及其性能

在正交实验基础上,综合考虑各方面的性能,重复原(Ca-Al-Si系)95瓷即^{#0}、^{#4}和新组合^{#10}配方,配方及其性能如表3所示。

表3 第二批实验配方及其性能

Tab.3 The formulas and properties of the second group experiments

实验号	$x(\text{CaCO}_3)$	$x(\text{BaCO}_3)$	$x(\text{MgCO}_3)$	$x(\text{ZrO}_2)$	$\tan\delta/10^{-4}$	ϵ_r	$\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	$E_j/(10^3 \text{ V} \cdot \text{mm}^{-1})$
^{#0}	0.0325				2.5	9.22	3.62	25
^{#4}	0.0060	0.004	0.009	0.005	1.8	9.66	3.65	26
^{#10}	0.0080	0.004	0.009	0.003	2.2	9.89	3.64	24

注: 实验样品在烧结温度1660℃, 保温时间为1h条件下得到。

从实验结果可得出,^{#4}配方在性能和烧成温度方面都是最好的, 所以本实验的最终配方定为^{#4}配方。

2.3 添加剂在95瓷中的作用

本实验添加剂为 CaCO_3 、 BaCO_3 、 MgCO_3 和 ZrO_2 , 在95瓷中的作用可能有两种, 其一是形成新相, 另外是形成低共熔物(玻璃)。用表2实验中的^{#9}配方进行XRD测量, 结果如图4所示。由图4可知, 主晶相是 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, 没有发现新相形成, 由此可以断定 CaCO_3 、 BaCO_3 、 MgCO_3 和 ZrO_2 , 这些添加物形成了低共熔物。

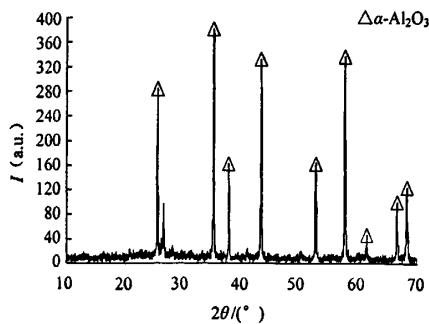


Fig.4 XRD pattern of the sample with ^{#9} formula

2.4 添加物对性能的影响

对基站天线而言, 接收灵敏度是重要参数, 降低 $\tan\delta$ 是提高天线接收灵敏度的主要途径之一。在保证合适的 ϵ_r 和 E_j 的前提下, 要尽量降低 $\tan\delta$ 。

一般来说, 95瓷的性能是由主晶相和玻璃相及气孔共同决定的, 当玻璃相含量很少的时候, 主要由主晶相决定。纯 Al_2O_3 陶瓷是难以烧结的, 当玻璃相很少的时候, 其结构不致密。当主晶相 Al_2O_3 含量一定时, 材料的性能便由玻璃相及气孔共同决定。添加剂 BaCO_3 、 CaCO_3 和 MgCO_3 都是加入二价金属离子, Ba^{2+} 能部分取代 Ca^{2+} 进入玻璃相的网络间隙

(与 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系比较), 玻璃相中 Ba^{2+} 增加, Ba^{2+} 半径较 Ca^{2+} 半径大, 其极化能力较强, 当材料中电子极化占主导地位, 则电子极化的极化率可表示为:

$$\alpha = 4\pi\epsilon_0 R^3 \quad (1)$$

式中: R 为离子半径。随着 Ba^{2+} 含量的增加介电常数略有增大。而 Zr^{4+} 属于高价离子也进入玻璃相中, 它与 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等共同作用导致介电常数有所增大, 另外, 含有 Mg^{2+} 玻璃包裹了晶粒, 对细晶结构有利, 提高了单位体积极化离子数目, 也对提高极化率作出贡献。这由图1、图2、图3和表3也可以看出: 添加剂 CaCO_3 、 BaCO_3 、 MgCO_3 和 ZrO_2 的加入, $\tan\delta$ (与 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系比较)下降。这是因为原材料中, 如苏州土, 存在着微量的 K^+ 、 Na^+ , 加入少量 Ba^{2+} 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 与微量的 K^+ 、 Na^+ 形成了玻璃, 在玻璃电导中出现“压碱效应”, 介质损耗降低。但是, 当玻璃相增大时, 由于玻璃相结构比较疏松, 松弛极化损耗也增大, 因此介质损耗增大。

由图1、图2、图3和表3还可以看到, 添加剂 CaCO_3 、 BaCO_3 、 MgCO_3 和 ZrO_2 的加入, 烧结后 ρ 也有所变化。因为 CaCO_3 、 BaCO_3 、 MgCO_3 和 ZrO_2 共同进入玻璃相, 当玻璃相很少的时候, 其结构不致密, ρ 小一些。当玻璃相量大的时候, 由于玻璃相结构比较疏松, 其结构不致密, ρ 也小一些。

一般来说, 同一体系材料的 ρ 大, 其抗电强度较高。由表3知, ^{#4}配方 ρ 比^{#0}配方大, 其 E_j 也较高些。这一点从图5、图6中得到证实。图5、图6是^{#0}配方和^{#4}配方的SEM照片, 由图可知, ^{#0}配方的晶粒比较大, 所以此配方的 E_j 较小; 而^{#4}配方的晶粒则是细小均匀

(下转第37页)

璃, 低温烧结制备了复合微晶玻璃。发现 $w(HG)$ 为 20% 时, 复合微晶玻璃 F2 能够在 850~910 °C 内烧结致密; HG 的引入抑制了 α -SiO₂ 的产生, F2 的主晶相为 CaSiO₃ 和 CaB₂O₄ 相; 由介电频谱可知, 大于 100 kHz 时, LG 和 F2 的介电性能稳定, HG 降低了 LG 的 ϵ_r , 在 1 MHz 测试频率下, F2 的 ϵ_r 小于 7.25, 介质损耗小于 2×10^{-3} 。500 V 测试条件下, F2 的电阻率为 $2.04 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 。

参考文献:

- [1] WANG S H, ZHOU H P. Densification and dielectric properties of CaO-B₂O₃-SiO₂ system glass ceramics [J]. Mater Sci Eng B, 2003, 99: 597-600.

(上接第 30 页)

比为 3, 微波活化 15 min, 活性炭比表面积达 2 683 m²/g, 比电容量达 361 F/g。

(2) 微波活化时间和碱焦比对制备活性炭电极材料有着重要影响, 随着活化时间和碱焦比的增加, 活性炭比表面积不断增加, 当活化时间超过 15 min 或者碱焦比大于 3 时, 活性炭比表面积变化不大。

(3) 微波法制备出的活性炭电极材料的比电容量并不是活性炭比表面积越大越好, 而是跟活性物质表面孔洞的利用率有关。

参考文献:

- [1] CONWAY B E. Transition from supercapacitor to “battery” behavior in electrochemical energy storage [J]. Electrochim Soc, 1991, 138(6): 1539-1548.

(上接第 33 页)

的, 所以此配方的 E_i 较大。#4 配方比 #0 配方的综合性能更好。其配方性能指标是: $\tan\delta$ 为 1.8×10^{-4} , ϵ_r 为 9.66, ρ 为 3.65 g/cm^3 , E_i 为 $25 \times 10^3 \text{ V/mm}$ 。

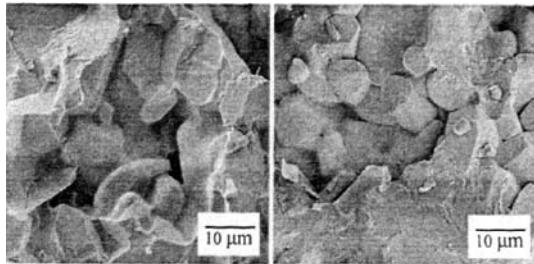


图 5 “0”配方样品的 SEM 照片
Fig.5 SEM image of sample with “0” formula

图 6 “4”配方样品的 SEM 照片
Fig.6 SEM image of sample with “4” formula

3 结论

(1) 在 Ca-Al-Si 系 95 瓷配方中适量掺杂, 可以减小 $\tan\delta$, 得到较高的 ρ 、 E_i 和 ϵ_r 。

- [2] CHANG C R, JEAN J H. Crystallization kinetics and mechanism of low dielectric low temperature co-firable CaO-B₂O₃-SiO₂ glass ceramics [J]. J Am Ceram Soc, 1999, 82(7): 1725-1732.
- [3] ZHU H K, ZHOU H Q, LIU M, et al. Microstructure and microwave dielectric characteristics of CaO-B₂O₃-SiO₂ glass ceramics [J]. J Mater Sci: Mater Electron, 2009, 20(11): 1135-1139.
- [4] CHIANG C C, WANG S F, WANG Y R, et al. Densification and microwave dielectric properties of CaO-B₂O₃-SiO₂ system glass-ceramics [J]. Ceram Int, 2008, 34(3): 599-604.
- [5] 吕安国, 丘泰, 周洪庆, 等. 硼硅酸玻璃对 CaO-B₂O₃-SiO₂ 玻璃陶瓷结构和性能的影响 [J]. 材料工程, 2007, (11): 41-44.
- [6] IMANAKA Y. Multilayered low temperature co-fired ceramics (LTCC) technology [M]. Tokyo: Springer, 2005.
- [7] 蔡伟, 江涛, 谭小球, 等. 低温烧结低介电灰石瓷料的研制 [J]. 电子元件与材料, 2002, 21(2): 6-18.

(编辑: 陈渝生)

- [2] 戴贵平, 刘敏, 王茂章, 等. 电化学电容器中炭电极的研究与开发 I 电化学电容器 [J]. 新型炭材料, 2002, 17(1): 71-79.
- [3] 刘辰光, 刘敏, 王茂章, 等. 电化学电容器中炭电极的研究及开发 II 电化学电容器 [J]. 新型炭材料, 2002, 17(2): 64-72.
- [4] KOTZ R, CARLEN M. Principles and application of electrochemical capacitors [J]. Electrochim Acta, 2000, 45: 2483-2498.
- [5] 邓梅根, 张治安. 双电层电容器电极材料最新研究进展 [J]. 炭素技术, 2003, 12(7): 25-30.
- [6] 杨辉, 梁逸. 微波辐照石油焦制备双电层电容器用活性炭 [J]. 电子元件与材料, 2007, 26(7): 11-16.
- [7] 彭金辉. 微波辐照稻秆制造活性炭 [J]. 林产化学与工业, 1999, 19(3): 88-90.
- [8] 彭金辉. 微波辐照下氯化锌法制取优质活性炭 [J]. 林产化学与工业, 1997, 17(4): 71-82.
- [9] 王南方. 微波加热用于活性炭的制备、再生和改性 [J]. 化学进展, 2004, 23(6): 624-628.
- [10] YANG C C, HSU S T, CHIEN W C. All solid-state electric double-layer capacitors based on alkaline polyvinyl alcohol polymer electrolytes [J]. J Power Source, 2005, 152: 303-310.

(编辑: 曾革)

(2) 在 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 系 95 瓷配方中加入添加剂 CaCO₃、BaCO₃、ZrO₂ 和 MgCO₃ 后, 主晶相仍是 α -Al₂O₃。

(3) 在不改变 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 系 95 瓷配方中 α -Al₂O₃、SiO₂、苏州土含量的情况下, 加入 CaCO₃、BaCO₃、MgCO₃ 和 ZrO₂ 的摩尔分数分别为 0.006, 0.004, 0.009 和 0.005 时, 配方的性能最佳。

参考文献:

- [1] 关振铎, 张中太, 焦金生. 无机材料物理性能 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [2] 刘维良, 喻佑华. 先进陶瓷工艺学 [M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2004.
- [3] 石棋, 黄宏, 付江盛. 我国高铝瓷的现状及发展 [J]. 陶瓷研究, 1998, 13 (1): 36-38.
- [4] CHENG B J, GUO X Z, YANG H, et al. Effects of zircon additive on the properties of 95-alumina ceramic [J]. Key Eng Mater, 2005, (2): 280-283, 1013-1016.
- [5] 郑昌琼, 冉均国. 新型无机材料 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 230.
- [6] 成岳, 夏光华. 科学研究与工程试验设计方法 [M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2005.

(编辑: 曾革)

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>