

电子科学与技术专业实验改革及学生实验实践和创新能力培养

刘春雷, 沈谅解, 沈孟, 汪汉斌, 陈勇, 汪宝元

湖北大学微电子学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2024年5月19日; 录用日期: 2024年6月19日; 发布日期: 2024年6月26日

摘要

为解决电子科学与技术专业实验课程设置缺少综合性、设计性、研究性实验内容, 对其进行改革, 形成了一种新型电子科学与技术专业综合实验教学模式。该综合实验教学从铁电陶瓷器件的制作 - 测试 - 数据分析 - 结果讨论均由本科生自主完成, 对学生制备的铁电陶瓷器件的实验测试结果完全符合电介质材料极化后的介电常数及损耗的变化规律。经过3年的教学实践证明这种新实验教学模式具有设计成熟、可操作性强、综合实验与研究的特点, 能够提高学生的实践及创新能力。同时, 该模式能够对培养电子材料、器件、工艺、电路、光电子技术和电子信息技术领域的研发、教学以及管理人才起到了积极的促进作用。

关键词

电子科学与技术, 实验改革, SBN-BZT铁电陶瓷, 实践和创新能力

Experimental Reform of Electronic Science and Technology Major and Cultivation of Students' Experimental Practice and Innovative Ability

Chunlei Liu, Liangping Shen, Meng Shen, Hanbin Wang, Yong Chen, Baoyuan Wang

School of Microelectronics, Hubei University, Wuhan Hubei

Received: May 19th, 2024; accepted: Jun. 19th, 2024; published: Jun. 26th, 2024

Abstract

In order to solve the problem of lack of the experimental content of comprehensive, pre-designed

文章引用: 刘春雷, 沈谅解, 沈孟, 汪汉斌, 陈勇, 汪宝元. 电子科学与技术专业实验改革及学生实验实践和创新能力培养[J]. 教育进展, 2024, 14(6): 603-609. DOI: 10.12677/ae.2024.146979

and research-oriented, a new integrated experimental teaching model is proposed for the electronic science and technology major through reform. This comprehensive experimental teaching from the fabrication, testing, data analysis and results discussion of ferroelectric ceramic devices are independently completed by undergraduates. The test results of the ferroelectric ceramic devices completely conform to the changing law of dielectric constant and loss of dielectric material after polarization. Through three years of teaching practice, it has been proved that this is a new integrated experimental teaching model with the mature design, strong operability, comprehensive experiment and research and can improve practical and innovative abilities of students. Meanwhile, this model can play a positive role in cultivating research and development, teaching, and management talents in the fields of electronic materials, devices, processes, circuits, optoelectronics technology, and electronic information technology.

Keywords

Electronic Science and Technology, Experimental Reform, SBN-BZT Ferroelectric Ceramics, Practice and Innovation Ability

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 实验设计背景

电子科学与技术专业主要涵盖物理电子学、微电子学与固体电子学、电路与系统和电磁场与微波技术等专业,研究包括新型光电磁材料与元器件、微波电路与系统、集成电路、电子设备与系统等方向[1]-[3]。湖北大学电子科学与技术专业诞生于 1970 年的压电铁电陶瓷材料研究所,研究成果“压电陶瓷升压变压器”获国家科技进步二等奖。已成为“十一五”省级重点学科、“十二五”湖北省特色学科和湖北省品牌专业,是湖北省重点建设学科。随着社会的持续发展和科技的不断进步,人们对电子科学与技术专业人才专业能力的需求不断提高。在本科生实践和创新能力的培养方面,电子科学与技术专业实验课程更能表现出举足轻重的地位。本专业开设的电子科学与技术专业实验着重培养学生的创新实践能力,培养的学生既有电子科学与技术学科宽厚理论基础,又兼具电子材料及元器件技术及应用电路技术的知识。

近几年来,高校理工科学院的实验教学体系建设与改革在高等教育的发展中表现出不可替代的关键作用。大部分高校纷纷出台了多种形式的理工科实验教学改革和创新措施[4]-[6]。其中,以创新教学为核心、培养学生创新思维和实践能力的综合实验教学手段已成为新时代我国高校强化素质教育和深化教育改革的重要议题[7]-[9]。但目前,国内高校在电子科学与技术专业实验课程设置中普遍存在以验证性实验内容为主,缺少综合性、设计性、研究性实验内容的现象,这就会导致学生运用所学的理论知识去分析和解决问题的能力以及创新能力等方面存在不足[10]-[12]。针对此类问题,我们对电子科学与技术专业实验进行了系统的改革,具体实施方案为:在现有的陶瓷材料验证性实验的基础上增加了学生实践环节,形成了从陶瓷器件的制作 - 测试 - 性能分析 - 结果讨论等实验内容均由本科生自主完成的新型电子科学与技术专业综合实验教学模式。这种实验内容的改革不仅能够激发学生的实践和创新能力,更能有利于对学生以后的工作或科研能力的培养。经过 3 年的实验改革结果发现,通过制订科学有效的实验教学课程内容,可以激发学生的自主创新性,使其具有从事电子材料、器件、工艺、电路、光电子技术和电子信息技术等领域的研究、设计、制造,新产品、新技术、新工艺的研发及教学和管理工作的能力,并在

工程实践中能够体现出创新意识。还能够使其运用电子科学与技术及相关学科的专业知识和工程技术标准，辨别、分析、归纳、解决以及预测电子科学与技术及相关领域的复杂工程问题，并促进电子科学与技术专业培养目标的实现。

2. 实验设计思路

为了通过电子科学与技术专业实验教学能够很好地培养学生综合运用知识与技能去分析和解决问题的能力及创新能力，同时也为其解决复杂工程问题和今后的科研活动打下良好基础，本文设计了电子科学与技术专业综合实验。以现有的电介质材料的介电常数及损耗与频率和温度的关系等 6 个验证性实验为基础，通过增加铁电陶瓷器件的前期制作过程以及验证性实验测试后器件性能优化为主线的实验教学安排来提升学生的实践和创新能力。

本文设计的综合实验包含 3 大阶段：器件的制作、器件的测试、结果讨论。器件的制作手段是将 $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 和 $\text{BaZr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}_3$ 混合粉末通过球磨机研磨、压片机压片成型、高温炉煅烧、制作电极等步骤制作成基于 $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 和 $\text{BaZr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}_3$ (SBN-BZT) 的铁电陶瓷器件；器件的测试为以电介质材料的介电常数及损耗与频率和温度的关系等 6 个验证性实验为主，将制备好的 SBN-BZT 铁电陶瓷器件进行相关测试；结果讨论为以实验结果为依据，讨论实验结果的合理性、误差分析、以及改变实验体检对实验结果的影响做进一步探讨。以上 3 大实验阶段是在实验指导教师的监督和指导下由学生独立操作完成。

3. 实验案例与分析

本文所用的器件是 21 级电子科学与技术专业(产业班)王仁兰同学通过学院科研实验室现有的实验设备来制备 SBN-BZT 铁电陶瓷电介质材料器件，并测量其介电常数及损耗与频率和温度的关系，具体实验内容如下：

3.1. 器件的制作

如图 1(a)所示，应用行星式球磨机(QM-3SP2)将 $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ 和 $\text{BaTi}_{0.75}\text{Zr}_{0.25}\text{O}_3$ 按照化学计量比 0.94 和 0.06 粉末以球磨速度为 $250 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 、研磨时间为 960 分钟、转向间隔为 30 分钟的实验条件进行研磨；将得到的粉末放入直径为 11 mm 的模具内，通过全自动粉末压片机(ZYP-20TS)以 5 Mpa 的压力施压 1 分钟成型得到陶瓷坯体如图 1(b)所示；将得到的陶瓷片放到高温烧结炉(KF1100)中，以 1450°C 为保持温度煅烧 240 分钟得到 BNT-BZT 铁电陶瓷片(图 1(c))；将煅烧后的 BNT-BZT 铁电陶瓷片自然冷却至室温后，在陶瓷片的两侧刷一层银胶作为电极(图 1(d))，此时 BNT-BZT 铁电陶瓷器件制作完成。在陶瓷器件的制作过程中能够培养学生的动手能力，使学生亲身体验陶瓷器件的制作过程。

3.2. 器件的测试

本文以电介质材料的介电常数及损耗与频率的关系、电介质材料的介电常数及损耗与温度的关系 2 个实验为例对所制作的 SBN-BZT 铁电陶瓷器件进行验证性测试并分析实验结果。

实验目的：熟练掌握 MODEL TH2816 型宽频 LCR 数字电桥的使用；测量制备好的 SBN-BZT 铁电陶瓷材料的介电常数(ϵ_r)和介质损耗角正切($\tan \delta$)与频率和温度的关系是否符合电介质材料的电学特征，从而验证 SBN-BZT 铁电陶瓷是否属于电介质材料。

实验仪器：宽频 LCR 数字桥电(TH2816 型)、台式电热干燥箱(202-00AB)。

实验原理：在交变电场中，电介质材料除电导损耗外还存在着各种形式的极化所产生的损耗，即松弛极化损耗。此时，复介电常数 $\epsilon_r = \epsilon' - i\epsilon''$ 的虚部与实部的比值，即为介电损耗值，即 $\tan \delta = \epsilon''/\epsilon'$ ，又

称介质损耗因数。 δ 是电介质的电位移 D 由于极化弛豫而落后电场 E 的一个相位角。由于介质的各种极化机构在不同的频率范围有不同的响应和不同频率下产生不同的电导率，所以介质的介电常数和介电损耗都是随频率的变化而变化。介电常数及损耗与频率和温度的关系可用下式表达[13]:

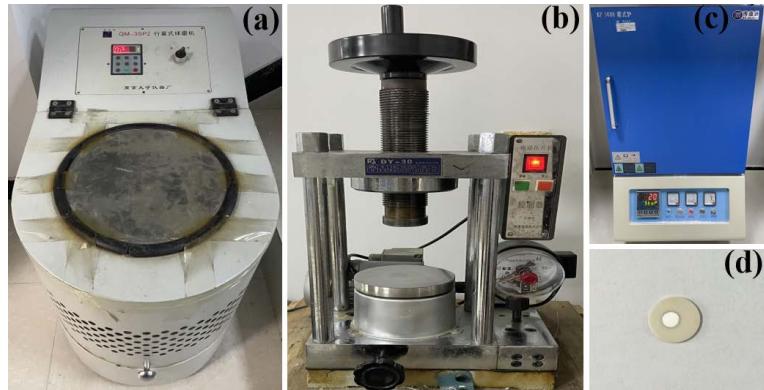


Figure 1. (a) Planetary ball mill; (b) Automatic powder tablet press; (c) High temperature sintering furnace; (d) SBN-BZT ferroelectric ceramic sheet

图 1. (a) 行星式球磨机；(b) 全自动粉末压片机；(c) 高温烧结炉；(d) SBN-BZT 铁电陶瓷片

$$\epsilon' = \epsilon_\infty + (\epsilon_s - \epsilon_\infty) \frac{1}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (1)$$

$$\epsilon'' = (\epsilon_s + \epsilon_\infty) \frac{\omega^2 \tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2)$$

$$\tau \propto e^{U/KT} \quad (3)$$

其中， ω 为交流电频率； τ 为松弛时间。

本实验使用专用的能同时测量介质电容量和耗损以及电感和电阻的 LCR 数字电桥，测试过程如图 2 所示。其原理是测出跨在元件上的电压和流过元件的电流之后，通过仪器计算得到被测电介质材料的电容和电位移 D 的值，最后通过 $\epsilon_r = \frac{Cd}{\epsilon_0 S}$ 以及 $\tan \delta = \epsilon''/\epsilon'$ 计算出 SBN-BZT 铁电陶瓷器件的介电常数和损耗。

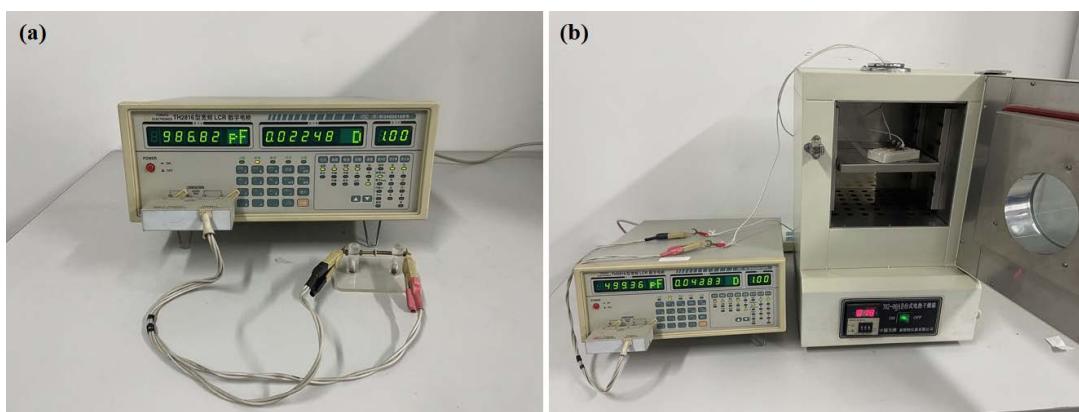


Figure 2. (a) Measurement of the dielectric constant and the relationship between loss and frequency of SBN-BZT ferroelectric ceramic devices; (b) Measurement of the dielectric constant and the relationship between loss and temperature of SBN-BZT ferroelectric ceramic devices

图 2. (a) SBN-BZT 铁电陶瓷器件的介电常数及损耗与频率的关系测试；(b) SBN-BZT 铁电陶瓷器件的介电常数及损耗与温度的关系测试

3.3. 实验结果与分析

图 3(a)为 SBN-BZT 铁电陶瓷器件的介电常数及损耗与频率的关系。从图中可以看出,介电常数随着频率的增加单调递减,而损耗单调递增,这符合电介质材料极化后的电学性能特征。图 3(b)为 SBN-BZT 铁电陶瓷器件的介电常数及损耗与温度的关系。从图中可以看出,介电常数随着温度的增加先增加后减小,而损耗单调递减。对于一般中性电介质材料的介电常数 ϵ_r 随温度变化不大,但具有松弛式极化的材料其 ϵ_r 则随温度变化非常激烈,一般呈非线性关系,并出现峰值,同时损耗 $\tan \delta$ 随着温度的增加而减小。实验结果表明,通过对王仁兰同学制备的 SBN-BZT 铁电陶瓷器件测试后,测试结果完全符合电介质材料极化后的介电常数及损耗的变化规律(公式(1)~公式(3)),可以作为电子科学与技术专业实验的测试样品来源,供教师进行本科专业实验教学使用。在实验课程的后半段,设置了学生对实验结果讨论环节,部分学生提出如果调整 $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ 和 $\text{BaTi}_{0.75}\text{Zr}_{0.25}\text{O}_3$ 的化学计量比可能对 SBN-BZT 铁电陶瓷器件的性能会产生怎样的影响。其他学生纷纷发言并预测出多种实验结果,同时准备会利用课余时间去调整实验条件继续探索,课堂气氛达到了高潮,教学效果良好。实验讨论环节的增加,改变了枯燥的、单调的实验教学模式,充分的调动了学生的积极性,培养了学生的思考及创新能力,为其今后的工作及科研打下了坚实的基础。

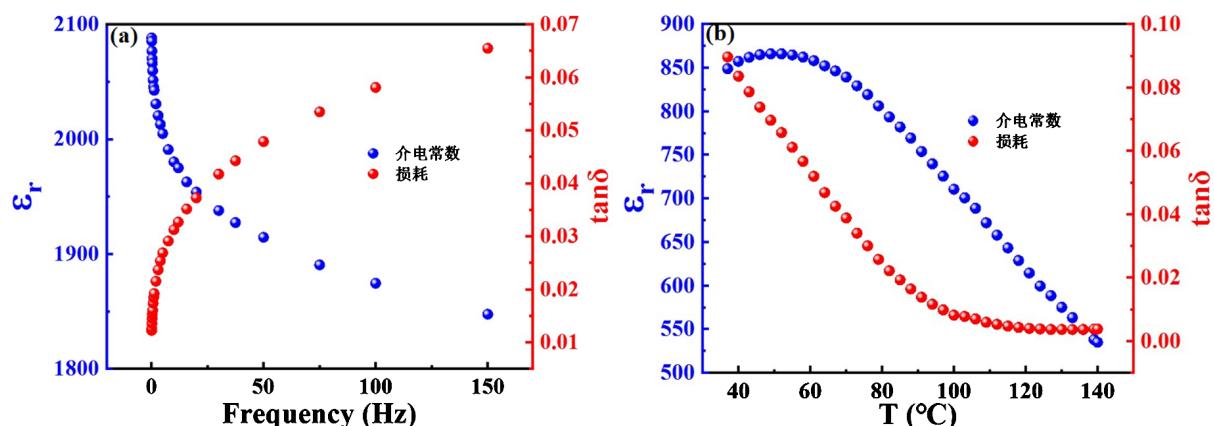


Figure 3. (a) The dielectric constant and the relationship between loss and frequency of SBN-BZT ferroelectric ceramic devices; (b) The dielectric constant and the relationship between loss and temperature of SBN-BZT ferroelectric ceramic devices

图 3. (a) SBN-BZT 铁电陶瓷器件的介电常数及损耗与频率的关系; (b) SBN-BZT 铁电陶瓷器件的介电常数及损耗与温度的关系

4. 实践效果

4.1. 积极效果

针对上述实验方案,已应用到我校 2019~2021 级电子科学与技术专业和电子科学与技术专业(产业班)6 个本科班的电子科学与技术专业实验中。该课程为独立课程共 64 学时,其中仿真实验为 32 学时;本文的综合实验为 32 学时,包括 SBN-BZT 铁电陶瓷器件制作、器件的 6 个实验测试和实验结果讨论 3 大部分共 8 周教学任务。经过 3 年实验教学的实施与调整,该改革后的课程已经初步形成了实验方案设计成熟、可操作性强的综合性专业实验课程教学体系。通过对实验学生的调研发现,学生普遍反映通过学习该实验课程后动手能力有所提高、研究思维有所变化,希望学院多多开设此类综合性实验课程。实验指导教师也反映这种综合性实验课程的开展对于增强学生的自学能力、实践能力和科研思维均有所提升。

近年来,这6个班学生参加“互联网+”、“挑战杯”以及“大学生创新创业计划训练项目”的人数提升到40%,同时大部分学生进入到科研实验室中参与学院教师的科研项目并参与完成教师的研究课题。这种实验改革可以提高学生对所学的理论知识运用的能力,并且逐渐培养其科研能力,学生可以在自己的毕业设计选题中增加科研类选题,同时教师也可以将自己所带本科生的毕业设计题目与自身的研究课题紧密结合。这种实验改革对于本专业培养能够在电子材料、器件、工艺、电路、光电子技术和电子信息技术等领域的科研和生产单位从事电子科学与技术领域的研究、设计、制造,新产品、新技术、新工艺的研发及教学和管理工作,在区域经济和社会发展中发挥引领作用的高素质拔尖创新及卓越应用型人才的培养目标起到了积极的促进作用。

4.2. 存在不足

本电子科学与技术专业综合实验改革在取得以上良好效果的同时,在实验教学进行过程中也凸显出几个问题:1)制作铁电陶瓷器件种类单一。目前本实验综合教学过程中所使用的为SBN-BZT铁电陶瓷材料,导致每组学生得到的实验结果相差不大;2)制作铁电陶瓷器件的设备严重不足。目前制作铁电陶瓷的设备归属于学院科研实验平台,存在本科生实验教学时间和研究生科研实验时间冲突以及设备购买时间久远存在设备老化等诸多问题;3)实验教学空间不足。电子科学与技术专业综合实验改革后实验教学场地严重不足,这就迫使实验教师不得不将一个班级的进行学生分组教学,导致教师工作量增加。为解决上述问题,学院拟增加铁电陶瓷材料的种类,多样性的实验结果有利于学生之间相互讨论。同时,准备批量购买行星球磨机、全自动粉末压片机、高温烧结炉等铁电陶瓷器件的制备设备和宽频LCR数字桥电、台式电热干燥箱等测试设备来不断完善电子科学与技术专业综合实验教学并进一步向其它专业实验推广。

5. 总结

针对国内高校在电子科学与技术专业实验课程设置中普遍存在以验证性实验内容为主,缺少综合性、设计性、研究性实验内容的问题,设计了一种陶瓷器件的制作-测试-性能分析-结果讨论均由本科生自主完成的新型电子科学与技术专业综合实验教学模式。通过对自主制备的SBN-BZT铁电陶瓷器件进行两个验证性实验测试结果分析并经过3年的实验教学改革试验结果表明,这种以能力培养为导向的主动型实验教学模式改革充分调动了学生的积极性,显著提高学生的创新意识和综合应用能力的同时也更加符合工程教育改革的需求。我们随后的工作重心是在进一步完善将此综合实验模式后,拟推广和实践到其他本科专业实验课程中去。争取将这种综合性实验教学模式贯穿到整个本科实验教学工作中,覆盖学院所有专业学生,并以培养学生对所学的专业知识融会贯通和深入理解为期许,建立完善的以评价学生思考能力和创新能力为导向的综合性实验教学课程体系。实践证明,电子科学与技术实验教学改革为培养能够运用电子科学与技术及相关学科的专业知识和工程技术去辨别、分析、归纳、解决电子科学与技术及相关领域的复杂工程问题的具有新时代我国社会主义市场经济和信息科学技术及产业发展需求的行业领域高素质的应用型人才起到了积极作用。

致 谢

作者衷心感谢审稿专家提出的宝贵意见与建议!

基金项目

教育部电子信息教指委教研项目(国家一流专业建设点——湖北大学电子科学与技术专业改革与实

践 2021-JG-41)。

参考文献

- [1] 李杰, 姚雅丽, 孙辉. 电子科学与技术专业实验课程体系的改革与实践[J]. 教育教学论坛, 2019(39): 98-99.
- [2] 刘小莲, 岳磊. “学研结合”培养创新型电子信息科学与技术专业人才的探索与实践[J]. 教育教学论坛, 2019(8): 162-163.
- [3] 李祺, 师建英, 闫小兵. 电子科学与技术专业集成电路实验教学改革[J]. 中国教育技术装备, 2019(8): 119-120.
- [4] 张贺, 孙显龙, 于慧. 电子科学与技术专业实验, 实践教学改革研究[J]. 教育教学论坛, 2021(48): 137-140.
- [5] 张林, 李清华, 谷文萍, 等. 电子科学与技术专业器件类综合性实验[J]. 电气电子教学学报, 2019(41): 126-129.
- [6] 陈志武, 金玲, 何新华, 等. 电子科学与技术专业实验 教学体系改革与实践——以华南理工大学为例[J]. 钦州学院学报, 2015(30): 37-41.
- [7] 余石金, 韦莺. 基于CDIO模式的电子科学与技术专业实验教学体系的改革与探索[J]. 教育观察, 2018(7): 83-86.
- [8] 宋哲, 冯秋菊. 教师科研引入“电子科学技术专业实验”课程教学模式的探索[J]. 实验科学与技术, 2018(16): 71-74.
- [9] 刘长宏, 张恒庆, 王刚. 电子设计竞赛与创新能力培养[J]. 实验科学与技术, 2006(4): 70-72.
- [10] 仲雪飞, 刘鹃, 汤勇明, 等. 电子科学与技术专业人才培养质量调研[J]. 电气电子教学学报, 2014(36): 1-3.
- [11] 胡向东, 向敏, 李锐. 基于科研促进教学的工程应用创新型人才培养模式[J]. 实验技术与管理, 2012(29): 133-135.
- [12] 王锦, 梁科, 李国峰. 电子科学与技术专业实验教学中学生的技能培养[J]. 实验室科学, 2013(16): 62-64.
- [13] 孙目珍. 电介质物理基础[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2000: 15-17.