

项目公示信息

项目名称：电压敏陶瓷晶界 Schottky 势垒区电子结构与击穿特性的研究

完成单位：西安工程大学，西安交通大学

完 成 人：成鹏飞，李盛涛，李建英

项目简介：

本项目为应用基础研究类项目，属电气工程高电压绝缘技术下电压敏陶瓷领域。晶界 Schottky 势垒的电子结构、电子输运过程、电击穿特性决定了电压敏陶瓷长期服役老化性能和过电压瞬态保护性能，是电压敏陶瓷领域研究的核心和重点。本项目主要研究内容和科学价值包括：

①发现了直流电导在低频区引起赝极化的现象，基于晶粒——晶界二元结构模型建立了电压敏陶瓷的赝极化理论，提出了本征极化与赝极化的鉴别方法，指出电压敏陶瓷中 Maxwell-Wagner 极化的物理本质在于晶粒电导赝极化，而电压敏陶瓷的模量谱、阻抗谱中出现的低频介电弛豫则起源于晶界电导赝极化。赝极化理论为通过介电响应鉴别晶粒、晶界奠定了理论基础，使人们可以分别研究晶粒、晶界电气性能的变化。

②发展了电子陷阱弛豫理论，并通过介电温谱获得了电压敏陶瓷晶界 Schottky 势垒区的本征点缺陷能级，建立了势垒区空间电荷分布与势垒分布的理论关系，提出了晶界 Schottky 势垒区电子结构的点缺陷模型，计算了 Schottky 势垒区小电流特性和大电流击穿特性，从能带角度解释了 ZnO 压敏陶瓷残压比难以下降的物理本质，给出了残压比的理论下限。晶界 Schottky 势垒区电子结构的点缺陷模型建立了能带结构、点缺陷结构与电压敏陶瓷宏观电气性能之间的内在联系，为电压敏陶瓷电气性能的优化指明了方向。

研究成果在国内外著名期刊发表论文 20 余篇，其中 SCI 检索论文 9 篇。我们发表的文章被国际一流期刊所引用，研究工作得到了国内外学者的高度评价，其中单篇他引超 10 次的论文有两篇，产生了广泛的影响。国际著名固体物理专家 R. Ahmed 教授在 *Journal of Materials Science-Materials in Electronics* (IF: 2.324) 中的论文，将本项目关于晶界 Schottky 势垒区电子结构的理论模型作为自己研究的基础，并将本项目关于 ZnO 单晶的实验结果作为标准对自己的实验数据进行对比分析。臧国忠教授在 *Ceramics International* (IF = 3.057) 等多个期刊中评价认

为“本项目提出的电子陷阱弛豫理论建立了本征点缺陷与电导、介电常数之间的内在联系，开辟了电压敏陶瓷研究的新方向”。中国科学院上海硅酸盐研究所著名学者李国荣研究员在 *Materials and Design* (IF: 4.525)中的论文，基于本项目的研究结果，将 ZnO 陶瓷应用于崭新的研究领域。本项目的研究成果获得国家发明专利 1 项（专利号：ZL 2015 1 0063230.7），申请国家发明专利 1 项（申请号：201710533294.8）。

主要知识产权目录(15 篇代表作及专利、计算机软件著作权等)：

主要论文专著目录（限 15 条）

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷页码（xx 年 xx 卷 xx 页）	发表 时间	通讯 作者	第一 作者
1	ZnO 压敏陶瓷介电损耗的温度谱研究	物理学报	成鹏飞, 李盛涛, 李建英	2009, 58(8), 5721-5725.	2009	成鹏 飞	成鹏 飞
2	CaCu ₃ Ti ₄ O ₁₂ 陶瓷的介电特性与弛豫机理	物理学报	成鹏飞, 王辉, 李盛涛	2013, 62(5), 057701.	2013	成鹏 飞	成鹏 飞
3	Dielectric spectroscopy studies of ZnO single crystal	Chinese Physics B	Cheng Peng-Fei; Li Sheng-Tao;	2013, 22(10), 107701.	2013	成鹏 飞	成鹏 飞
4	ZnO-Bi ₂ O ₃ 系压敏陶瓷的晶界电子结构	物理学报	成鹏飞, 李盛涛, 李建英	2010, 59(1), 560-565.	2010	成鹏 飞	成鹏 飞
5	Physical meaning of conductivity spectra for ZnO ceramics	Chinese Physics B	Cheng Pengfei, Li Shengtao, Li	2012, 21(9), 097201.	2012	成鹏 飞	成鹏 飞
6	Modulus spectroscopy of grain-grain boundary binary system	Physica B-Condensed Matter	Cheng Pengfei, Song Jiang, Li	2015, 459, 105-109.	2015	成鹏 飞	成鹏 飞
7	Dielectric properties of grain-grainboundary binary system	Physica B-Condensed Matter	Cheng Pengfei, Li Shengtao.	2014, 449, 160-163.	2014	成鹏 飞	成鹏 飞
8	ZnO 压敏陶瓷的介电谱	物理学报	成鹏飞, 李盛涛, 李建英	2012, 61(18), 187302.	2012	成鹏 飞	成鹏 飞
9	Impedance Spectroscopy Simulation of Homogeneous and Heterogeneous	Ferroelectrics	Cheng Pengfei, Song Jiang, Li	2016, 491, 76-84.	2016	成鹏 飞	成鹏 飞
10	Application of dielectric spectroscopy in ZnO varistor ceramics	Advanced Materials Research	Cheng Pengfei, Li Shengtao, Li	2012, 393-395, 24-27.	2012	成鹏 飞	成鹏 飞

11	Identification of ZnO defect structure by PL spectroscopy	Advanced Materials Research	Cheng Pengfei, Liu Hanchen.	2011, 393-395 , 135-138.	2011	成鹏飞	成鹏飞
12	Polarization effect of free carriers in ZnO single crystal	IEEE International Conference on	Cheng Pengfei, Song Jiang, Li	2015, 212-215.	2015	成鹏飞	成鹏飞
13	Dielectric response of CaCu ₃ Ti ₄ O ₁₂ materials.	International Conference on Mechanic	Cheng Pengfei, Liu Hanchen.	2011, 7303-7306.	2011	成鹏飞	成鹏飞
14	ZnO-Bi ₂ O ₃ 系压敏陶瓷晶界对残压的影响	电瓷避雷器	成鹏飞, 李盛涛, 王玉平, 朱斌	2009, 227(1), 30-32.	, 2009	成鹏飞	成鹏飞
15	ZnO 陶瓷的压敏效应及其起源	电瓷避雷器	成鹏飞, 刘汉臣, 张晓军	2013, 252(2), 45-52.	2013	成鹏飞	成鹏飞
...							

主要知识产权证明目录（限 10 条）

知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	专利有效状态
国家发明专利	用于 ZnO 单晶物理参数的无损检测方法	中国	ZL 2015 1 0063230.7	2017	2525239	西安工程大学	成鹏飞, 宋江	有效