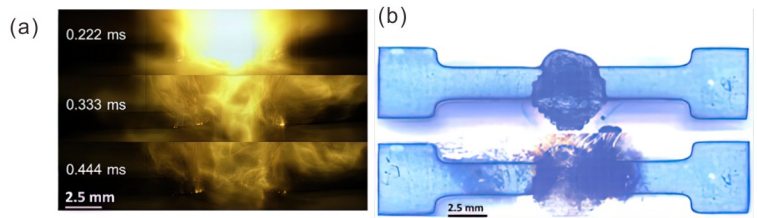


美国普渡大学设计了基于导电聚合物的火花间隙点火器

相比于普通金属,导电聚合物因其更低的密度和更强的抗腐蚀能力,在点火系统的工业化生产中具备更好的应用潜力。美国普渡大学利用聚苯胺这一导电聚合物作为电极材料,并将其打印在绝缘基底上制得火花间隙点火器。其点火试验的结果表明,其平均发火电压约为3.14 kV。在点火器上沉积Al/Bi₂O₃纳米铝热剂并对其进行成功点火,验证了该点火器对含能材料的点火能力。该研究为开发有机基点火器、拓宽含能材料的无金属点火技术指引了方向。

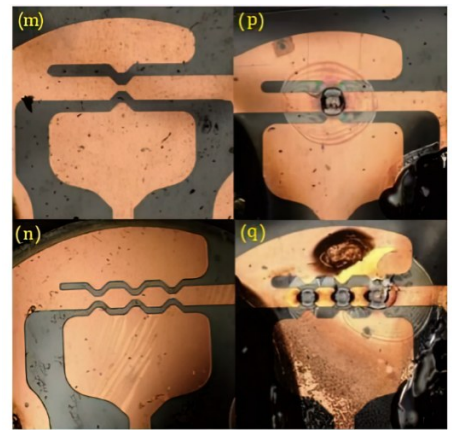
源自: McConnell M, Murray A, Boudouris B, et al. Conductive polymer spark gap igniters[J]. *Propellants Explos. Pyrotech.*, 2021, 46: 1500–1503.



北京理工大学制造了微爆炸箔平面放电开关

为了实现爆炸箔点火器的低能量、小型化和低成本,北京理工大学通过磁控溅射和光刻成型技术制造了集成爆炸箔的单体和串联式微爆炸箔平面放电开关(MEB-PDS)。通过优化微爆炸箔的结构参数,其点火感度降至1.191 kV,全发火电压降至1.269 kV。与其他类型的火花间隙放电开关相比,微爆炸箔的全发火电压降低了11.07%,微爆炸箔平面放电开关的触发电压从1.5 kV降至0.6 kV。分析可知将微爆炸箔集成至平面放电开关中,大大缩短了放电回路,减少了寄生阻抗和环路中的感性电阻,从而降低了爆炸箔点火器的点火能量。

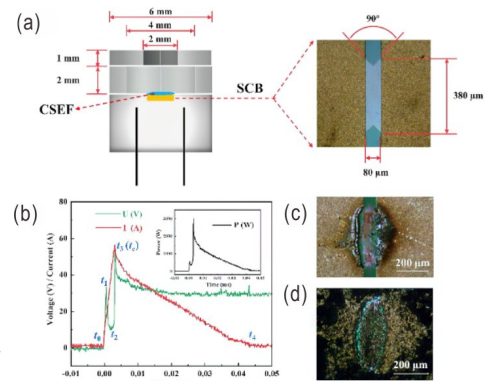
源自: Han K, Zhao W, Zeng X, et al. Enhanced performance of series microexploding bridge planar discharge switch integrated with exploding foil[J]. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2023, 38(3): 3375–3384.



南京理工大学通过同轴静电纺丝技术构筑了Al/MoO₃-PVDF@CL-20-NC核壳结构含能纤维,并与半导体桥原位集成以增强其点火能力

静电纺丝技术在制备纤维状含能材料方面表现出了巨大的应用潜力。南京理工大学通过同轴静电纺丝技术设计和制备了以Al/MoO₃-PVDF为内核组分,CL-20-NC为壳层组分的核壳结构含能纤维。对其燃烧性能进行研究发现,CL-20显著降低了点火起始温度和点火延迟时间;随着CL-20含量升高,燃烧传播速度从0.241 m·s⁻¹提升至0.664 m·s⁻¹。燃烧产物分析结果表明,CL-20通过减轻反应物的烧结来提升含能纤维的燃烧性能。最终,基于原位沉积方法在半导体桥上集成含能纤维,所制得含能半导体桥的燃烧火焰面积更大、燃烧持续时间更长,展现出了良好的点火输出能力。

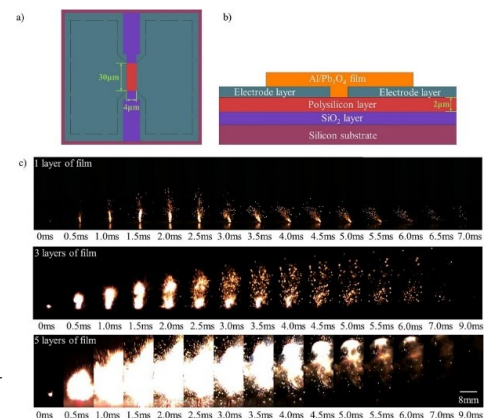
源自: Zhang Z, Cheng J, Wang Y, et al. Coaxial electrospinning fabrication of core-shell energetic fibers and in-situ integration with SCB exhibiting superior non-contact ignition[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2023, 451: 138361.



南京理工大学采用油墨直写技术制备了Al/Pb₃O₄含能半导体桥

油墨直写成型技术因其成本低廉、工艺简单、打印过程中材料无需经历高温处理和高安全性等优势,广泛应用于含能材料的成型打印。南京理工大学利用油墨直写方式在半导体桥上实现了固含量高达95%的Al/Pb₃O₄纳米铝热剂油墨的高效可控集成。该纳米铝热剂油墨的最大输出能量达到1960 J·g⁻¹,平均线性燃烧速率基本保持在19.14 cm·s⁻¹,基于油墨集成构筑的含能半导体桥其最大火焰高度达到了26 mm,输出能量达到了282 mJ,具备优异的间隙点火能力。该工作为纳米铝热剂油墨在电火工品换能器件领域的应用提供了重要参考。

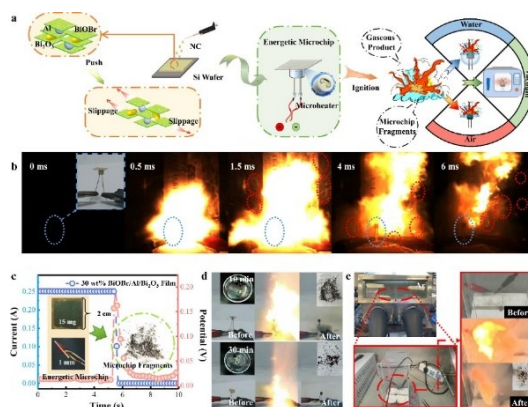
源自: Yu C, Zheng Z, Gu B, et al. Aluminum/lead tetroxide nanothermites for semiconductor bridge applications[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2023, 451: 138614.



重庆大学设计了基于瞬时铝热反应的自毁微芯片

纳米铝热剂在体积能量密度、燃烧和压力释放率等方面与传统CHNO含能材料相比表现出显著优势,适用于受保护硬件系统的自毁动作。重庆大学制备了一系列Al/BiOX基纳米铝热剂并将其集成在硅基底上制备出了高能自毁微芯片。测试结果表明,Al/BiOBr在能量释放($1141.9 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$)、峰值温度(2685 K)和压力持续时间(0.95 ms)等方面表现更为优异。含有30% BiOBr的Al/Bi₂O₃含能薄膜表现出低感度(45 J)、高能量释放($1144.3 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$)、高压峰值(1.93 MPa),在0.5 ms内即可粉碎1 mm厚的微芯片。该研究为含铝热剂自毁装置在微电子部件中的应用提供了重要依据。

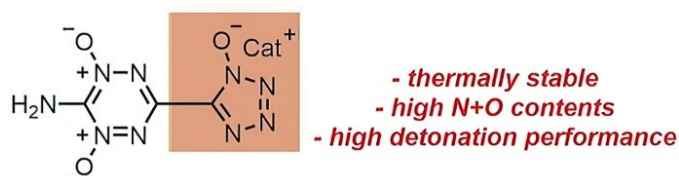
源自: Yang H, Qiao Z, Wang W, et al. Self-destructive microchip: support-free energetic film of BiOBr/Al/Bi₂O₃ nanothermites and its destructive performance [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2023, 459: 141506.



俄罗斯科学院制备了四氮杂环-羟基四唑新型高能材料

俄罗斯科学院以3-氨基-6-氰基-1,2,4,5-四嗪为母体化合物,基于聚氮双杂环组装合成了一系列由C—C桥接的四氮氧化物和羟基四唑环以及富氮阳离子组成的新型高能有机盐,其中阴离子单元堆叠,由阴离子的外环氧原子和环氮原子与羟胺反离子之间形成的氢键支撑。大量的分子内(间)氢键使得铵盐和氨基-1,2,4-三唑盐热稳定性好,密度在 $1.75\sim 1.78 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 之间,具有较高的生成焓、与RDX相仿的优良爆轰性能、相比于RDX更低的摩擦感度。

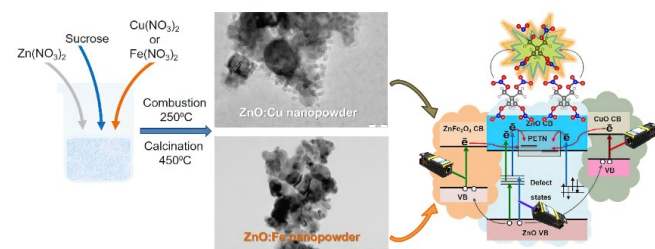
源自: Bystrov D, Pivkina A, Fershtat L. An alliance of polynitrogen heterocycles: novel energetic tetrazinedioxide-hydroxytetrazole-based materials [J]. *Molecules*, 2022, 27: 5891.



俄罗斯科学院研究了PETN的光敏化掺杂技术及其激光点火性能

俄罗斯科学院通过在季戊四醇四硝酸酯(PETN)中掺杂ZnO:Fe/ZnO:Cu等纳米粉末,提升PETN的光敏特性并评估其激光点火性能。在PETN中添加1%的纳米粉末,其激光点火能量阈值降至原来五分之一以下,可被连续蓝光激光二极管(波长为450 nm、功率为21 W)或红外激光二极管(波长为808 nm、功率为11 W)可靠起爆。基于上述试验结果提出了激光诱发含能材料爆炸的光化学反应机制,验证了ZnO基纳米材料作为含能材料光敏添加剂的应用前景。

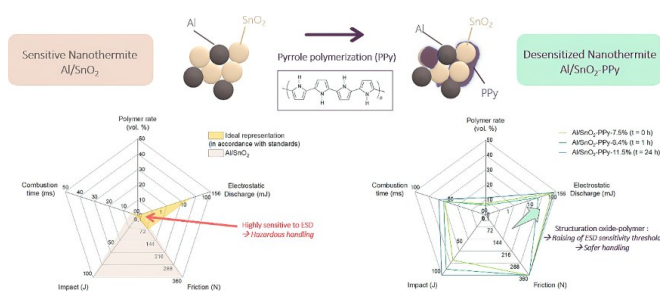
源自: Zverev A, Ilyakova N, Nurmukhametov D, et al. Iron and copper doped zinc oxide nanopowders as a sensitizer of industrial energetic materials to visible laser radiation [J]. *Nanomaterials*, 2022, 12: 4176.



法国国家科研中心通过吡咯的原位聚合实现Al/SnO₂铝热体系的静电加固

Al/SnO₂铝热体系对于静电作用极度敏感,其所能承受的静电能量阈值低于0.14 mJ,远低于人体放电所产生的静电能量(7~20 mJ)。法国国家科研中心基于吡咯(Py)的原位聚合制备SnO₂-PPy聚合物,利用聚吡咯(PPy)的导电性降低Al/SnO₂铝热体系的静电感度。在吡咯聚合过程中,控制SnO₂的引入时间可以控制SnO₂-PPy聚合物的微观结构,进而影响其静电发火阈值,其中聚合开始时即引入SnO₂所制得聚合物(体积分数7.5%聚吡咯)的静电发火阈值可达96.5 mJ。该研究为厘清纳米铝热体系的静电加固机理奠定了基础。

源自: Goetz V, Gibot P. Al/SnO₂ nanothermite ESD desensitization by means of the elaboration of tailored SnO₂-polypyrrole composites [J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2023, 15: 9830-9840.



(南京理工大学 俞春培 编译)