

世界国防科技年度发展报告 (2017)

军用电子元器件领域科技发展报告

工业和信息化部电子第一研究所



国防工业出版社
National Defense Industry Press

世界国防科技年度发展报告 (2017)

军用电子元器件领域科技 发展报告

JUN YONG DIAN ZI YUAN QI JIAN LING YU KE JI FA ZHAN BAO GAO

工业和信息化部电子第一研究所

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目（CIP）数据

军用电子元器件领域科技发展报告/工业和信息化部
部电子第一研究所编. —北京：国防工业出版社，
2018. 4
(世界国防科技年度发展报告. 2017)

ISBN 978-7-118-11627-4

I. ①军… II. ①工… III. ①军用器材—电子元器件
—科技发展—研究报告—世界—2017 IV. ①TN6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 101778 号

军用电子元器件领域科技发展报告

编 者 工业和信息化部电子第一研究所
责任编辑 汪淳 王鑫
出版发行 国防工业出版社
地 址 北京市海淀区紫竹院南路 23 号 100048
印 刷 北京龙世杰印刷有限公司
开 本 710 × 1000 1/16
印 张 16
字 数 185 千字
版 印 次 2018 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
定 价 96.00 元

《世界国防科技年度发展报告》 (2017)

编委会

主 任 刘林山

委 员 (按姓氏笔画排序)

卜爱民	王东根	尹丽波	卢新来
史文洁	吕 彬	朱德成	刘 建
刘秉瑞	杨 新	杨志军	李 晨
李天春	李邦清	李成刚	李向阳
李红军	李杏军	李晓东	李啸龙
肖 琳	肖 愚	吴亚林	吴振锋
何 涛	何文忠	谷满仓	宋朱刚
宋志国	张 龙	张英远	张建民
陈 余	陈 锐	陈永新	陈军文
陈信平	庞国荣	赵士禄	赵武文
赵相安	赵晓虎	胡仕友	胡明春
胡跃虎	原 普	柴小丽	高 原
景永奇	熊新平	潘启龙	戴全辉

《军用电子元器件领域科技发展报告》

编辑部

主 编 何小龙

副 主 编 黄 锋 李耐和

编 辑 (按姓氏笔画排序)

亢春梅 许文琪 李 静 李铁成

张 慧 潘 攀

《军用电子元器件领域科技发展报告》

审稿人员

何小龙 赵正平 喻松林 李 季
金伟其 陈 岚 陈 雷 陈丽洁
赵小宁 彭和平

撰稿人员（按姓氏笔画排序）

王 刚 王占国 王嘉铭 亢春梅
任国光 伊炜伟 刘 瑞 齐 予
许文琪 李 玲 李 煜 李耐和
李铁成 杨 霏 吴亚林 张 烨
张 慧 陈 波 陈亚男 陈丽洁
郁万成 金 鹏 屈长虹 郝保良
饶 岚 黄吉金 曾 旭 蔡 军
廖复疆 黎深根 潘 攀

编写说明

当前，世界新一轮科技革命和军事革命加速推进，科技创新正成为重塑世界格局、创造人类未来的主导力量，以人工智能、大数据、云计算、网络信息、生物交叉，以及新材料、新能源等为代表的前沿科技迅猛发展，为军队战斗力带来巨大增值空间。因此，军事强国都高度重视战略前沿技术和基础科技的布局、投入和研发，以期通过发展先进科学技术来赢得未来军事斗争的战略主动权。为帮助对国防科技感兴趣的广大读者全面、深入了解世界国防科技发展的最新动向，我们秉承开放、协同、融合、共享的理念，组织国内科技信息研究机构的有关力量，围绕主要国家国防科技综合发展和重点领域发展态势开展密切跟踪和分析，并在此基础上共同编撰了《世界国防科技年度发展报告》(2017)。

《世界国防科技年度发展报告》(2017)由综合动向分析、重要专题分析和附录三部分构成。旨在通过持续跟踪研究世界国防科技各领域发展态势，深入分析国防科技发展重大热点问题，形成一批具有参考使用价值的研究成果，希冀能为实现创新超越提供有力的科技信息支撑，发挥“服务创新、支撑管理、引领发展”的积极作用。

由于编写时间仓促，且受信息来源、研究经验和编写能力所限，疏漏和不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

军事科学院军事科学信息研究中心

2018年4月

前 言

军用电子元器件在新军事变革与武器装备信息化、智能化发展中发挥着极为重要的作用，发达国家已将电子元器件视为重要战略资源，积极推动电子元器件技术特别是前沿技术的发展，以维持或加大武器装备技术的“代差”优势，掌握未来战争主动权。为帮助广大读者全面、深入地了解军用电子元器件技术发展的最新动向，我们组织中国电子科技集团公司第十一研究所、第十二研究所、第十三研究所、第四十九研究所等专业研究所，以及中国科学院半导体研究所、中国工程物理研究院应用电子学研究所、中国兵器工业集团第二一一研究所、中国久远高新技术装备公司、全球能源互联网研究院、北京邮电大学等有关单位研究人员，共同编撰了《军用电子元器件领域科技发展报告》。

本书由综合动向分析、重要专题分析、附录三部分构成。综合动向分析部分对2017年军用微电子、光电子、真空电子、传感器、电能源、抗辐照等重点领域器件与技术发展情况进行了分析和归纳；重要专题分析部分从元器件领域选取16个重点和热点问题进行了比较深入的分析 and 研究；附录对2017年军用电子元器件重点领域的重大或重要事件进行了简述。

尽管参加编撰的人员做了努力，但由于时间紧张，同时受公开信息资源及研究经验和水平的限制，错误和疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2018年3月

目 录

综合动向分析

2017 年军用电子元器件领域科技发展综述	3
2017 年微电子器件发展综述	14
2017 年光电子器件发展综述	26
2017 年电能源发展综述	33
2017 年抗辐射加固器件发展综述	41
2017 年微电子器件技术发展综述	58
2017 年光电子器件技术发展综述	70
2017 年电能源技术发展综述	82
2017 年抗辐射加固器件技术发展综述	89
2017 年真空电子器件与技术发展综述	97
2017 年传感器器件与技术发展综述	103

重要专题分析

半导体金刚石材料和器件研究现状	121
石墨烯—硅光电子器件发展现状和前景	133
军用非制冷红外成像机芯组件发展现状与趋势	153

兆瓦级激光器研究进展与技术挑战 165

发展新一代真空电子器件 175

美国在功能芯片上实现计算与存储集成 186

美国定向自组装芯片图形化工艺突破 10 纳米 189

美国电子束光刻工艺达 1 纳米量级 192

世界首个集成硅光子学神经网络硬件诞生 195

单片量子点—石墨烯 CMOS 图像传感器实现宽波段成像 199

超表面结构开辟光波导模式转换新途径 203

MEMS 红外光源有望实现更新换代 206

微纳光机电传感技术 209

DARPA 启动“电子复兴”计划 214

DARPA “近零功率射频和传感器”项目研究进展 219

附录

2017 年军用电子元器件领域科技发展大事记 229

ZONGHE

DONGXIANGFENXI

综合动向分析

2017 年军用电子元器件领域科技发展综述

2017 年，军用电子元器件技术发展活跃，微电子、光电子、真空电子、传感器、电能源、抗辐照加固等器件技术研发和应用均取得一系列重要进展，将对未来军事电子装备发展产生重要影响。

一、微电子元器件领域

2017 年，微电子元器件技术发展态势主要体现在以下方面：

一是微电子新器件不断涌现，细微化和高性能再上台阶。英特尔公司和镁光公司采用三维交叉点技术研制的存储器具备高性能、低功耗、大容量等特性，存储密度比普通闪存高 10 倍，性能、可靠性高 1000 倍。澳大利亚成功开发出首个非易失性铁电畴壁存储器原型，其读取操作电压低于 3 伏，存储时的电流开关比可达 10^3 量级，具有较低的误读率和较长的使用寿命。美国普渡大学发出氧化镓场效应晶体管，可用于制造电网、军用舰船和飞机中的超高效开关；哥伦比亚大学成功制备出可重复、高开/关电流比单分子晶体管，其可在室温下工作，为分子电子学器件的实际应用带来了

希望；纽约州立大学理工学院开发出基于二维硒化钨材料的可重构晶体管，可实现 PN 结二极管、金属氧化物半导体场效应管、双极面结型晶体管三种基本器件的功能重构，为在缩小器件尺寸的同时，提升器件综合性能提供了全新的思路。瑞士联邦材料科学与技术实验室联合德国马克斯普朗克聚合物研究中心和美国加州大学伯克利分校，共同开发出基于石墨烯纳米带的纳米晶体管，向实现下一代微处理器研发迈出重要一步。日本国家材料科学研究所首次成功将增强型和耗尽型金刚石基金属氧化物半导体场效应晶体管结合在一起，构成逻辑电路，向研制可在极端环境下工作的金刚石集成电路迈出的关键一步。

二是微电子技术创新取得重大突破，多功能、新架构芯片研制成功。美国斯坦福大学和麻省理工学院采用垂直堆叠系统架构，开发出集计算、存储功能于一体的新型三维集成芯片，向研制高性能、低功耗计算系统迈出关键一步。澳大利亚新南威尔士大学设计出世界首个硅基互补金属氧化物半导体量子计算芯片可行性架构，新架构可利用现有硅基半导体标准化工艺流程实现，采用基于自旋量子位的三维垂直结构设计和先进的六量子位表层编码计算误差校正系统，有望将单片量子位集成度提升至数百万以上，是实现大规模通用量子计算的重要里程碑。

三是类脑芯片技术研发和应用取得新进展，有望实现认知、智能处理。美国密歇根大学受哺乳动物视觉系统启发开发出一种新型“忆阻器”计算机电路芯片原型，具备处理图像、视频等复杂数据的能力，其处理速度比现有最先进的系统快几个数量级且功耗非常低。该大学还开发出由“忆阻器”构成的新型神经网络硬件——储备池计算系统，可显著提高机器学习人类思维的效率，并能根据实时对话情况预测结果。英国牛津大学、埃克塞特大学和德国明斯特大学的研究人员共同开发出一种可模拟大脑神经突

触进行信息存储和处理的光子计算芯片，速度达到人脑速度的 1000 倍，运行功率效率堪比光子系统。美国空军研究实验室正与 IBM 公司合作研发基于“真北”类脑芯片的全新类脑超级计算机系统。可同时实现“数据并行化”和“模式并行化”，推进认知和智能处理。

四是芯片热管理新技术研发进展迅速，性能进一步提高。美国普渡大学开发出一种可用于高性能雷达和超级计算机芯片冷却的新型微通道冷却技术，可通过一系列复杂微通道直接在电子芯片内部实现液体冷却剂循环，达到 1000 瓦/厘米² 的散热能力。杜克大学和英特尔公司借鉴清洁蝉翼的物理机制，开发出新型“跳跃水滴”散热技术，可在高性能电子器件中冷却动态热点（局部过热点），满足动态热点不可预期的散热需求。该技术成功解决了电子器件内部动态热点的冷却难题，填补了此领域的空白，为研制性能更好的全向固态散热器开辟了新的道路。德国弗朗恩霍夫研究所开发出一种新型处理器微通道散热技术，通过将交叉微通道集成到硅插件中，首次实现从高性能处理器下方实施冷却，可显著提高处理器性能。

五是集成电子制造工艺取得重大突破，有望进一步延续摩尔定律。IBM 公司联合格罗方德半导体公司、三星电子公司率先推出 5 纳米集成电路制造工艺，为实现更高集成度、更快运算速度、更低功耗的大规模集成电路奠定了基础。美国布鲁克海文国家实验室开发出全新电子束光刻工艺，实现 1 纳米量级图形分辨率，将电子束光刻图形分辨率提高 1 个数量级，有望大幅推动集成电路制造、微机电系统加工和纳米技术研究的发展。美国麻省理工学院开发出基于石墨烯的范德瓦尔斯外延技术，在（001）晶面的砷化镓、磷化铟、磷化镓等 III - V 族化合物衬底上，以单层石墨烯为中间层，实现了同质外延生长。

二、光电子器件领域

2017 年，光电子器件技术发展态势主要体现在以下方面：

一是激光器朝窄脉宽、高功率、宽光谱方向发展。在美国陆军研究实验室支持下，中佛罗里达大学制备出当前脉冲宽度仅 53 阿秒的 X 射线激光器，创造了新的光脉冲持续时间世界纪录。由丹麦、德国、法国、意大利、波兰、俄罗斯、瑞典、瑞士、斯洛伐克、西班牙和匈牙利联合研发 X 射线自由电子激光器已于 9 月正式投入使用，该激光器波长为 0.8 纳米，脉冲重复频率达 27000 赫，是当前世界能产生高强度短脉冲 X 射线的最大激光设施。澳大利亚麦考瑞大学和加拿大拉瓦勒大学联合开发出输出功率高达 4.2 千瓦的中红外光纤激光器，该激光器可作为超连续谱光源，用于超精密时间及频率测量、宽带激光通信、气体探测等领域。

二是红外探测器朝宽波段、高灵敏度、高光谱方向发展。西班牙光子科学研究所研制出首个单片石墨烯—量子点互补金属氧化物半导体图像传感器，其工作波段为 300 ~ 2000 纳米，像元数为 388×288 ，动态范围高于 80 分贝，有望实现宽波段、高灵敏度、高光谱成像，促进夜视、侦察监视、遥感装备性能跃升，大幅提高战场感知能力。美国加州理工学院结合纳米光子学和热电学，开发出新的热电探测器。该器件探测光谱范围为可见光至中红外光波段，无需制冷，热响应时间为 337 微秒，比传统热电探测器快 10 ~ 100 倍，可用于太阳电池、成像等领域。美国威斯康星大学麦迪逊分校和布法罗大学利用纳米腔开发出一种单晶锗纳米膜光电探测器。它具有超薄、吸光效率高等特点，可通过调节纳米腔控制吸收波长，未来有望生产出更小尺寸的光电器件。

三是发光二极管朝高亮度、高纯度、柔性和长寿命方向发展。瑞士苏黎世联邦理工学院在室温下采用厚4.8纳米钙钛矿材料，制备出首个超纯绿色发光二极管。超纯绿色发光二极管对实现高效率、高亮度和高色纯度彩色平板显示器具有重要意义，为改进下一代超高清显示器色彩质量铺平道路。韩国科学技术院通过将织物衬底与发光二极管集成，开发出高可靠性、高柔性可穿戴显示器。其厚为200纳米，亮度高达93030坎/米²，最大发光效率为49.14坎/安，工作寿命超过1000小时，可作为新一代柔性显示器件和3D显示器件，具有广阔的应用前景。

四是光电集成技术朝多功能、小型化方向发展。美国哥伦比亚大学将超表面与硅基条形光波导集成，研制出新型中红外光波导模式转换器。该器件可在自由空间光波长1.7倍的距离内实现单向模式转换，验证了超表面在光波导模式转换中的技术可行性，为光在波导中实现模式转换提供新的发展思路。美国麻省理工学院在硅衬底上集成层状碲化钼，制备出的器件既可以作为发光二极管又可以作为光电探测器。未来，采用该技术可将波导、耦合器、干涉仪和调制器等器件直接集成在硅基上。日本电信公司将亚波长纳米线与光子晶体相结合，开发出纳米线激光器。纳米线激光器实现了连续波激射振荡，并能进行高速信号调制，调制速率达10吉比特/秒。新型纳米线激光器可用于片内光互连和光子片上网络、传感等领域，有望推动光子集成技术的发展。

三、真空电子器件领域

2017年，真空电子器件技术发展态势主要体现在以下方面：

一是220吉赫行波管在视频合成孔径雷达中得到验证。2017年9月，