



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

第三代半导体器件专利分析

李稔¹ 金言² 袁芳¹ 郭丽君³

1. 中国科学技术信息研究所 北京 100038;
2. 中国工程院战略咨询中心 北京 100088;
3. 北京师范大学图书馆 北京 100875

摘要: 以碳化硅、氮化镓为代表的宽禁带半导体材料具有宽半导体带隙、高电子饱和漂移速度、高热导率、高击穿强度等特点, 特别适合制造工作于高频率、高速度、高温的半导体器件和短波长光电器件, 已成为国际半导体器研究与产业化的热点。基于科学计量的方法, 本文从专利申请和授权的年度趋势、发明人所在地、专利申请地、专利分类体系分布以及专利权人的角度深入分析了第三代半导体器件专利的整体产出情况、重点技术领域以及研发机构情况, 并对我国发展相关产业提出建议。研究表明, 近30年来第三代半导体器件专利申请量高速增长, 专利的来源地与受理地均为日本、美国、中国和韩国, 中国大陆地区在该领域缺少龙头企业, 相关研发以大学和科研院所为主, 尚需培育市场需求。

关键词: 第三代半导体器件; 专利分析; 碳化硅; 氮化镓

中图分类号: G322 G35

Patent Analysis of the Third Generation Semiconductor Devices

LI Nong¹ JIN Yan² YUAN Fang¹ GUO Lijun³

1. Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038, China;
2. Center for Strategic Studies, CAE, Beijing 100088, China;
3. Beijing Normal University Library, Beijing 100088, China

Abstract: The Third Generation Semiconductor Materials, such as silicon carbide and gallium nitride, are characterized by wide semiconductor band gap, high electron saturation drift rate, high thermal conductivity and high breakdown strength. They are especially suitable for manufacturing semiconductor devices and short wavelength optoelectronic devices working at the situation of high frequencies, high speeds and high temperatures, which have become the hotspot of international semiconductor research

基金项目: 中国科学技术信息研究所重点工作——重点科技领域深度分析与研究 2018 (ZD2018-01); 青海省“互联网+”绿色产业发展 (2018-0303-ZJC-0023) 的资助。

作者简介: 李稔 (1989-), 助理研究员, 研究方向: 重点科技领域研究, E-mail: linong@istic.ac.cn; 金言 (1979-), 硕士, 助理研究员, 研究方向: 知识服务、信息挖掘, E-mail: jy97@soho.com; 袁芳 (1989-), 博士, 博士后, 研究方向: 产业竞争情报研究, E-mail: yuanf@istic.ac.cn; 郭丽君 (1972-), 馆员, 研究方向: 数字图书馆资源建设。

and industrialization. Based on the scientometric method, the overall output, key technical fields and important R&D institutions of the third generation semiconductor devices are analyzed in this paper, by annual trends of patent application and authorization, the inventor locations, locations that receive patent application, patent distribution based on cooperative patent classification, as well as patent assignees. Meanwhile, the development suggestions of related industries in China are also put forward. Research shows that the number of patent applications for the third generation semiconductor devices has increased rapidly in the past 30 years. The inventor and acceptance locations of patents are from Japan, the United States, China and South Korea, but there is a lack of leading enterprises in this field in the mainland of China. The third generation semiconductor device related R&D is dominated by universities and institutes in the mainland of China, which still need to cultivate market demand.

Keywords: The third generation semiconductor device; patent analysis; SiC; GaN

半导体是导电能力介于导体与绝缘体之间的物质。半导体材料是一类具有半导体性能、可用来制作半导体器件的电子材料，其出现显著推动了信息社会的发展。目前，半导体材料已经发展到第三代。

第一代半导体材料主要是指硅（Si）、锗元素（Ge）半导体材料。20世纪50年代，Ge在半导体中占主导地位，主要应用于低压、低频、中功率晶体管以及光电探测器中，但是Ge半导体器件的耐高温和抗辐射性能较差，到60年代后期逐渐被Si器件取代。另外，Si元素储量极其丰富，提纯与结晶方便，二氧化硅（SiO₂）薄膜纯度高，绝缘性能好，使得器件的稳定性与可靠性较高。目前95%以上的半导体器件和99%以上的集成电路都是由Si制作的，但Si的物理性质限制了其在光电子和高频高功率器件上的应用。

第二代半导体材料主要是以砷化镓（GaAs）、磷化铟（InP）和锑化铟（InSb）为代表的化合物半导体材料。20世纪90年代以来，随着移动通信技术的飞速发展，以光纤通信为基础的信息高速公路和互联网的兴起，第二代半导体材料开始崭露头角。GaAs、InP等材料

适用于制作高速、高频、大功率以及发光电子器件，是制作高性能微波、毫米波器件及发光器件的优良材料，广泛应用于卫星通讯、移动通信、光通信、GPS导航等领域。除此之外，第二代半导体材料还包括三元化合物半导体，如砷化镓铝（GaAlAs）、磷化镓铝GaAlP；固溶体半导体，如Ge-Si、GaAs-GaP；玻璃半导体（又称非晶态半导体），如非晶硅、玻璃态氧化物半导体；有机化合物半导体，如酞菁、酞菁铜、聚丙烯腈等。然而，GaAs、InP材料资源稀缺，价格昂贵，且具有毒性，污染环境，InP甚至被认为是可疑致癌物质，这些缺点使得第二代半导体材料应用受到很大限制。

第三代半导体材料主要包括碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、氮化铝（AlN）、氮化铟（InN）、氮化铟镓（InGaN）、氮化铝镓（AlGaIn）、氮化铝铟镓（AlInGaIn）、氧化锌（ZnO）和金刚石等禁带宽度大于或等于2.3 eV（电子伏特）的半导体材料，因此又被称作宽禁带半导体材料。其主要应用在半导体照明、电力电子器件（微波器件和功率器件）、激光器和探测器、光伏电池这四大领域。SiC和GaN的发展相对较为成熟，ZnO、AlN和金刚石的研究尚属起步阶段，

而 AlN、金刚石也被常被与氧化镓 (Ga_2O_3)、氮化硼 (BN) 一起归为超宽禁带半导体材料^[1]。

与第一代、第二代半导体材料相比, 第三代半导体材料具有更宽禁带宽度, 更高的击穿电场、更高的热导率、更高的电子饱和速率及更高的抗辐射能力, 因而更适合用于制作高温、高频、抗辐射及大功率器件^[2]。第三代半导体器件在国防^[3, 4]、航空航天^[5]、石油勘探、光存储等领域有着重要应用前景, 在通信^[6]、太阳能、新能源汽车^[7]、半导体照明^[8, 9]、智能电网^[10]、轨道交通^[11]等众多战略行业可以降低 50% 以上的能量损失, 最高可以使装备体积减小 75% 以上。第三代半导体器件主要包括二极管、结型场效应晶体管 (JFET) 和金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 等。

目前, 全球第三代半导体器件的研究主要集中在三大方向: 紫外发光和探测、新型 LED 照明和大功率电力电子器件^[12]。在紫外发光和探测方面, 高 Al 组分 AlGaN 紫外和深紫外器件及其材料的制备是研究的热点, 美国和日本处于领跑地位, 优势机构包括美国西北大学、南卡罗来纳大学以及日本名城大学, 国内的中国科学院半导体所、中国科学院长春光机所、北京大学清华大学、南京大学、中山大学以及厦门大学等开展了大量研究。在新型 LED 照明方面, 目前研究的热点是超高能效白光 LED, 日本 Nichia 公司、美国 Cree 公司以及中国台湾地区晶能光电的 LED 产品, 都实现了较高的发光效率, 三星、苹果和索尼等公司均已开展 microLED 的研发, 国内的中国科学院半导体所、北京大学、南京大学、中山大学和南昌大学等机构在蓝光 LED 领域有较强的研发实力。在大

功率电力电子器件方面, 研究重点在于 SiC 基 MOSFET, 目前已接近大规模产业化, 领先企业包括美国 Cree、德国 SiCrystal 和日本罗姆等, 对于 InAlN/GaN 高电子迁移率晶体管 (HEMT) 材料和器件方面, 美国的宜普电源转换公司、国际整流公司已初步实现产业化, 国内的西安电子科技大学、中电科 13 所、北京大学和中国科学院苏州纳米所等机构具有较强的技术实力。

专利能够反映某一领域的热点前沿、发展现状及未来趋势^[13, 14], 并体现出机构的创新能力^[15]。基于 Innography 数据库检索结果, 本文对第三代半导体器件领域专利信息进行了分析。采用关键词结合技术领域的检索方法, 检索式为 “(@ (abstract, pclaims, title) ((“SiC”) or (“silicon carbide”) or (“GaN”) or (“gallium nitride”) or (“AlN”) or (“aluminum nitride”) or (“InN”) or (“indium nitride”) or (“InGaN”) or (“AlGaIn”) or (“AlInGaIn”) or (“ZnO”) or (“zinc oxide”) or (“diamond”))) and (@ meta (IPC_H01L)))”, 得到相关专利共 111408 件 (INPADOC 专利家族), 其中授权专利共 63773 件, 总体授权率为 57.24%。

1 第三代半导体器件相关专利整体情况分析

1.1 专利年度变化趋势分析

近 30 年全球第三代半导体器件相关专利申请数量与授权数量的年度变化趋势如图 1 所示。由于专利申请后于 18 个月内公开, 2017—2018 年的专利申请数据不完整, 故表现出的专利申请与授权量较低。在 1990—2016 年这段期间,

专利申请量平均年复合增长率为9.37%。另外，第三代半导体器件相关专利授权量曲线走势和专利申请量曲线走势基本一致，1990—2016年，

专利授权量平均年复合增长率为8.29%。由此可见，第三代半导体器件的研究与产业化在近些年一直在快速发展。

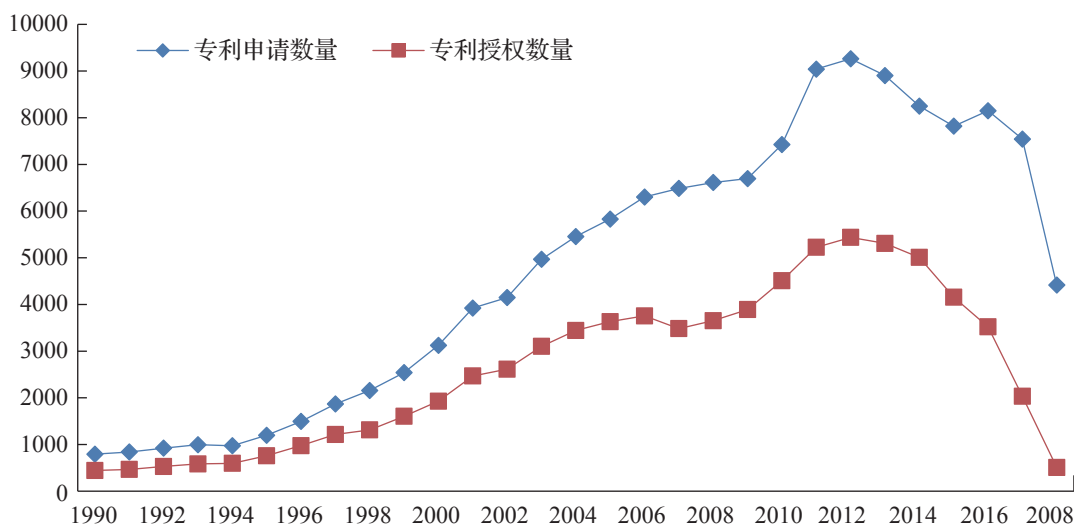


图1 全球第三代半导体器件相关专利申请数量与授权数量的年度变化趋势

1.2 专利来源地分析

全球 111408 项第三代半导体器件相关专利来自于 113 个国家和地区，其中，排名前十国家和地区的第三代半导体器件相关专利申请数量、授权数量与授权比例如图 2 所示。可以看到，第三代半导体器件相关专利主要来自日本、中国大陆、美国、韩国、中国台湾、德国、法国、英国、俄罗斯和荷兰。其中，日本以 42367 件专利申请量和 21576 件专利授权量排名第一，全球占比分别达到 38.03% 和 33.83%，总体专利授权率为 50.93%，低于全球平均水平；中国大陆以 23602 件专利申请量和 11178 件专利授权量排名第二，全球占比分别达到 21.19% 和 17.53%，总体专利授权率仅为 40.39%，显著低于全球平均水平；美国以 17843 件专利申请量和 11932 件专利授权量排名第三，全球占比分别达到 16.02% 和 18.71%，总体专利授权率

为 66.87%，显著高于全球平均水平。日本、中国、美国和韩国四国第三代半导体器件相关专利合计申请与授权量全球占比达到了 96.56% 和 94.10%，几乎可以代表全球第三代半导体器件技术发展情况。

1.3 专利受理地分析

全球第三代半导体器件相关专利的受理地包括 57 个国家、地区和组织，其中，排名前十的国家、地区和组织第三代半导体器件相关专利申请数量、授权数量与授权比例如图 3 所示。可以看到，第三代半导体器件相关专利主要受理地区为日本、美国、中国大陆、韩国、中国台湾、欧洲专利局德国、英国、法国和俄罗斯。日本、中国、美国和韩国仍然是最大的专利受理地，表明这四个国家也是全球主要的第三代半导体器件的主要市场。

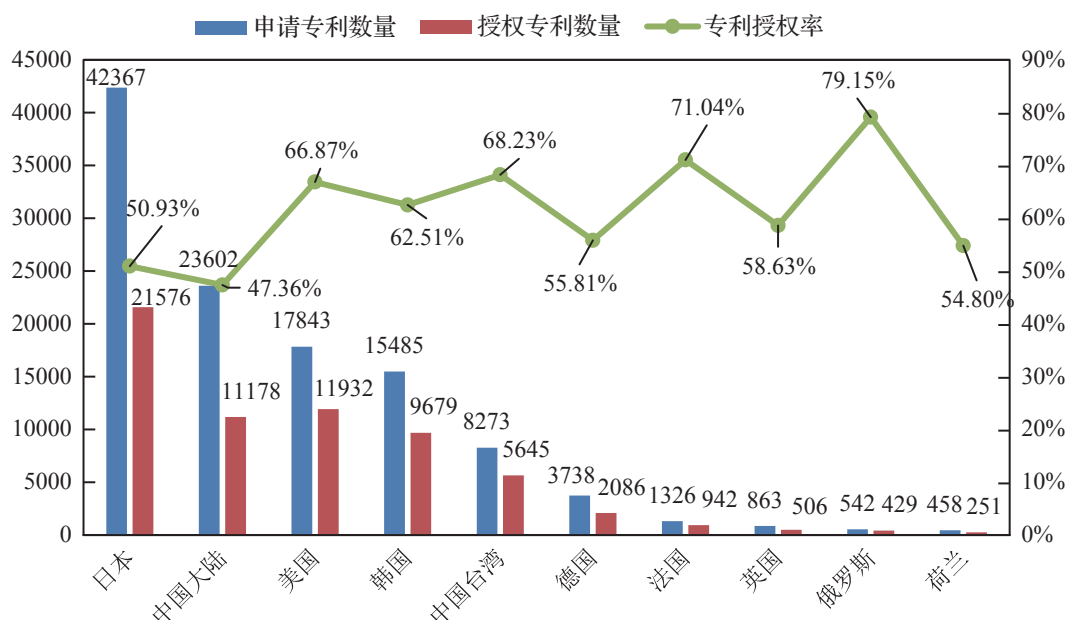


图2 排名前十的第三代半导体器件相关专利来源地申请数量、授权数量与授权比

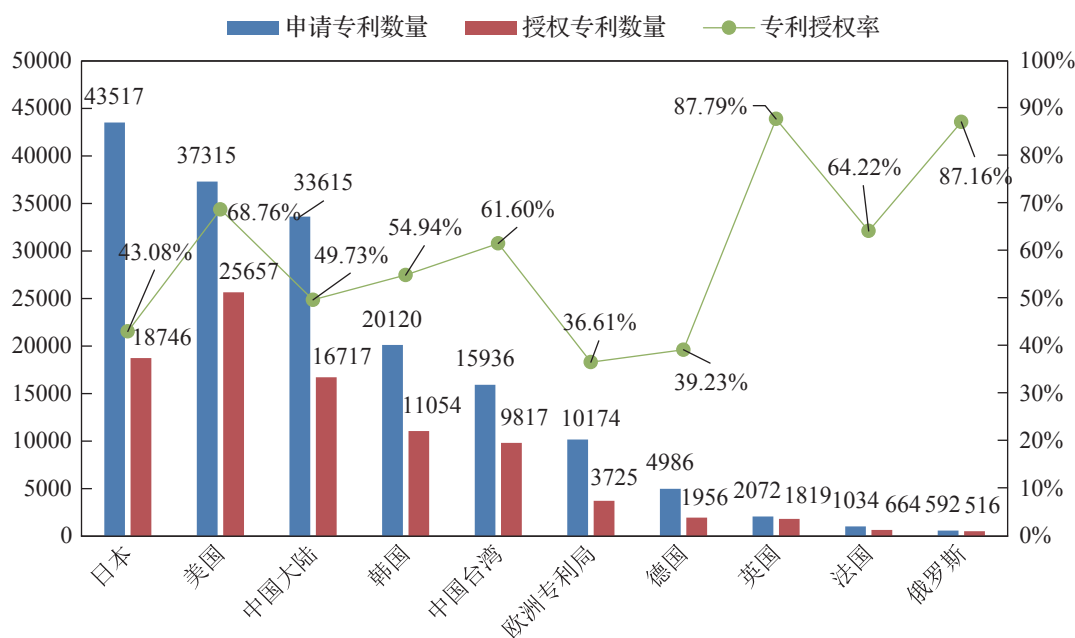


图3 排名前十的第三代半导体器件相关专利受理地申请数量、授权数量与授权比

2 第三代半导体器件重点技术领域分析

2.1 第三代半导体器件相关专利在IPC部的分布情况分析

第三代半导体器件相关申请专利在IPC部

的分布如图4所示，IPC部的分类注释如表1所示。第三代半导体器件相关专利在9个部中均有分布，但主要集中分布于H部“电学”、C部“化学；冶金”、G部“物理”和B部“加工；运输”，H、C、G、B四部合计占比达到99.07%（部分专利跨部分布），其原因在于第

三代半导体器件相关技术本身即属于半导体范畴，另外还涉及化学组分、光电技术及其制造工艺。

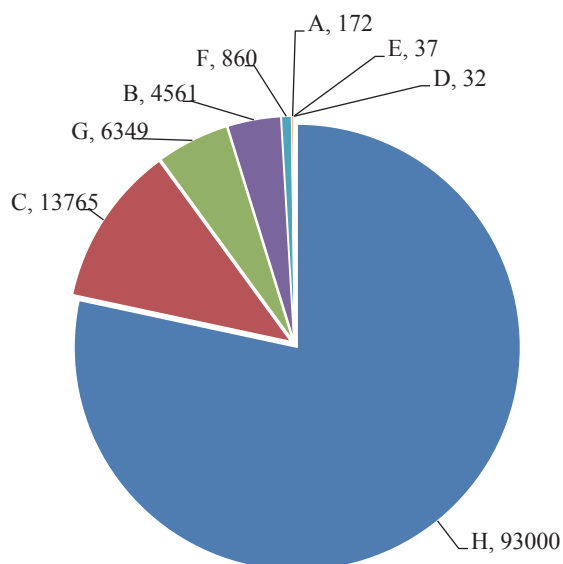


图4 第三代半导体器件相关申请专利在IPC部的分布

表1 IPC部的分类注释

序号	分类号	分类内容	申请量	授权量
1	H	电学	93000	53811
2	C	化学；冶金	13765	7325
3	G	物理	6349	3313
4	B	加工；运输	4561	2506
5	F	机械工程、照明、加热	860	446
6	A	人类必需品	172	75
7	E	固定建筑物	37	20
8	D	纺织；造纸	32	16

2.2 第三代半导体器件相关专利在IPC类的分布情况分析

第三代半导体器件相关申请专利在IPC类的分布如图5所示，IPC类的分类注释如表2所示。第三代半导体器件相关专利分布在108个类中，但主要集中分布于H01类“基本电气元件”，总体占比达到74.35%，原因在于第三代半导体

器件属于基本电器元件，其产业基础在于半导体的设计与制造。除H01类之外，C30类“晶体生长”、H05类“其他类目不包含的电学技术”、C23“对金属材料的镀覆；用金属材料对材料的镀覆；表面化学处理；金属材料的扩散处理；真空蒸发法、溅射法、离子注入法或化学气相沉积法的一般镀覆；金属材料腐蚀或积垢的一般抑制”和C09类“染料；涂料；抛光剂；天然树脂；黏合剂；其他类目不包含的组合物；其他类目不包含的材料的应用”这4个IPC类也占有较高比例。H01、C30、H05、C23和C09这5个IPC类合计占比达到84.13%。

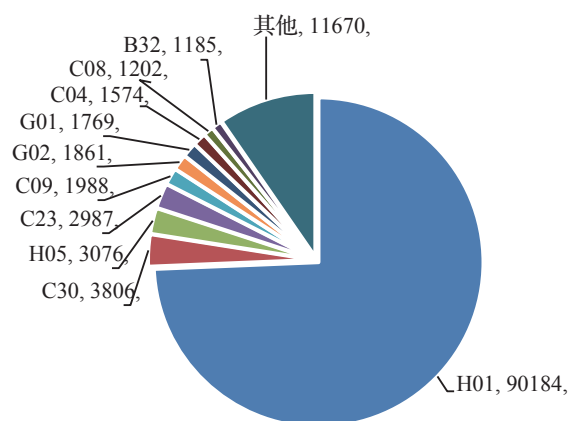


图5 第三代半导体器件相关申请专利前十的IPC类分布

2.3 第三代半导体器件相关专利在IPC子类的分布情况分析

第三代半导体器件相关申请专利在IPC子类的分布如图6所示，IPC子类的分类注释如表3所示。第三代半导体器件相关专利分布在351个子类中，但主要集中分布于H01L子类“半导体器件；其他类目中不包括的电固体器件”，总体占比达到73.23%，H01类下还主要有H01S“利用受激发射的器件”子类（半导

体激光器)。除 H01L 子类之外, C30B 子类“单晶生长”、C23C 子类“对金属材料的镀覆;用金属材料对材料的镀覆;表面扩散法,化学转化或置换法的金属材料表面处理;真空蒸发法、溅射法、离子注入法或化学气相沉积法的一般镀覆”、H05B 子类“电热;其他类目不包含的电照明”和 C04B 子类“石灰;氧化镁;矿渣;水泥;其组合物,例如:砂浆、混凝土或类似的建筑材料;人造石;陶瓷”和这 4 个 IPC 子类也占有较高比例。H01L、C30B、

C23C、H05B 和 C04B 这 5 个 IPC 子类占比达到 81.38%, 主要是以第三代半导体材料与器件的制造方法为主^[16]。C30B 子类对应生长 SiC 单晶常用的物理气象运输(PVT)法,以及 GaN 单晶基板制造常用的氢化物气相外延法(HVPE)^[17]。C04B 子类的存在是因为 SiC、GaN 和 AlN 也属于陶瓷材料,其制备方法也可归类到化工与冶金领域,另外一个原因在于,金属 Ga 主要来自氧化铝厂的副产品。B24B 子类则对应单晶片的抛光工艺。

表 2 IPC 类的分类注释

序号	分类号	分类内容	申请量	授权量
1	H01	基本电气元件	90184	51505
2	C30	晶体生长	3806	2058
3	H05	其他类目不包含的电学技术	3076	1465
4	C23	对金属材料的镀覆;用金属材料对材料的镀覆;表面化学处理;金属材料的扩散处理;真空蒸发法、溅射法、离子注入法或化学气相沉积法的一般镀覆;金属材料腐蚀或积垢的一般抑制	2987	1625
5	C09	染料;涂料;抛光剂;天然树脂;黏合剂;其他类目不包含的组合物;其他类目不包含的材料的应用	1988	896
6	G02	光学	1861	1012
7	G01	测量;测试	1769	878
8	C04	水泥;混凝土;人造石;陶瓷;耐火材料	1574	908
9	C08	有机高分子化合物;其制备或化学加工;以其为基料的组合物	1202	562
10	B24	磨削;抛光	1185	561

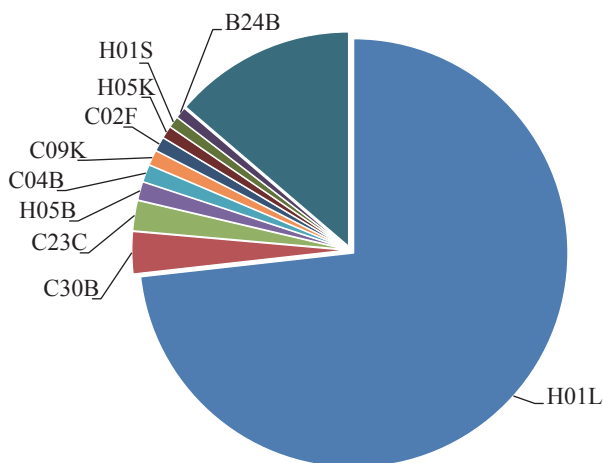


图 6 第三代半导体器件相关申请专利前十的 IPC 子类分布

表 3 IPC 子类的分类注释

序号	分类号	分类内容	申请量	授权量
1	H01L	半导体器件；其他类目中不包括的电固体器件	87939	50168
2	C30B	单晶生长	3806	2058
3	C23C	对金属材料的镀覆；用金属材料对材料的镀覆；表面扩散法，化学转化或置换法的金属材料表面处理；真空蒸发法、溅射法、离子注入法或化学气相沉积法的一般镀覆	2739	1501
4	H05B	电热；其他类目不包含的电照明	1673	790
5	C04B	石灰；氧化镁；矿渣；水泥；其组合物，例如：砂浆、混凝土或类似的建筑材料；人造石；陶瓷	1574	908
6	C09K	不包含在其他类目中的各种应用材料；不包含在其他类目中的材料的各种应用	1379	645
7	C02F	水、废水、污水或污泥的处理	1292	749
8	H05K	印刷电路；电设备的外壳或结构零部件；电气元件组件的制造	1124	533
9	H01S	利用受激发射的器件	1040	524
10	B24B	用于磨削或抛光的机床、装置或工艺	1022	496

2.4 第三代半导体器件相关专利在IPC组的分布情况分析

第三代半导体器件相关申请专利在 IPC 组的分布如图 7 所示，IPC 类的分类注释如表 4 所示。第三代半导体器件相关专利分布在 1545 个组中，但主要集中分布于 H01L 21/00、H01L 33/00、H01L 29/00、H01L 31/00、H01L 23/00、H01L 27/00 和 H01L 51/00 这七大组，合计占比达到 79.65%，主要涵盖半导体制造及其设备、发光半导体、射频前端、光电器件和封装等技术。

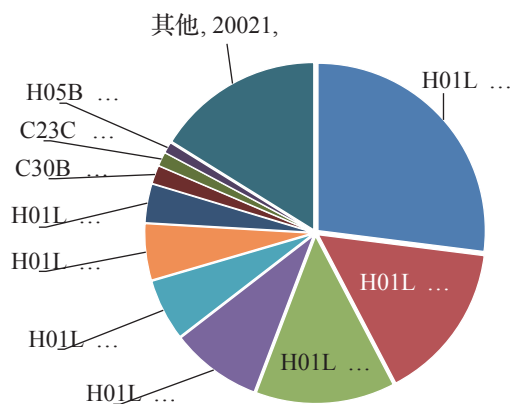


图 7 第三代半导体器件相关申请专利前十的 IPC 组分布

3 第三代半导体器件领域机构分析

3.1 欧美第三代半导体器件领域机构分析

欧美第三代半导体器件专利申请排名前十机构如表 5 所示，全部为企业。除英飞凌和欧司朗总部在德国之外，其他企业总部均设立在美国。英飞凌脱胎于西门子半导体部门，是全球领先的功率半导体和汽车电子元件制造商，而 SiC 未来在新能源汽车产业拥有巨大潜力，是该公司技术研发的重要方向；欧司朗是全球第二大光电半导体制造商，也是全球唯二的能够提供商品化 GaN 基激光器的企业，而 GaN 激光照明被认为是下一代照明技术，其在高能射线探测领域也具有很大应用潜力，但尚未实现产业化；德国 SiCrystal 公司也有较强的产业化能力，但专利申请量较少。对于美国企业，IBM、英特尔、德州仪器和镁光科技均为全球半导体技术巨头，陶氏杜邦为全球化工巨头。应用材料是全球最大的半导体制造设备供应商，在第三代半导体材料

尤其是 SiC 相关的氧化扩散、薄膜沉积和刻蚀工艺与设备领域有大量专利布局；格罗方德原为美超微（AMD）晶圆厂，后拆分为独立的纯晶圆代工企业，并为阿联酋资本穆巴达拉投资基金（Mubadala Investment Company PJSC）子公司阿布扎比先进技术投资公司（ATIC）控股，是仅次于台积电和三星的全球第三大晶圆代工企业；科锐是商品化 SiC 单晶抛光片制造领域的隐形冠

军，其技术水平全球领先，几乎垄断了整个 SiC 衬底 LED 照明产业，同时，该公司也成功生产出了 GaN 单晶衬底；Kyma 公司则已经能够供货 1 英寸、2 英寸和 3 英寸 GaN 单晶衬底，且已研制出 4 英寸 GaN 单晶衬底；通用电气在 GaN 衬底 LED 产业上也有布局；TDI 公司则是全球唯一能够量产 AlN 的机构。然而，上述两家公司专利申请量较少。

表 4 IPC 子类的分类注释

序号	分类号	分类内容	申请量	授权量
1	H01L 21/00	专门适用于制造或处理半导体或固体器件或其部件的方法或设备	33485	19481
2	H01L 33/00	至少有一个电位跃变势垒或表面势垒的专门适用于光发射的半导体器件；专门适用于制造或处理这些半导体器件或其部件的方法或设备；这些半导体器件的零部件	19017	10624
3	H01L 29/00	专门适用于整流、放大、振荡或切换，并具有至少一个电位跃变势垒或表面势垒的半导体器件；具有至少一个电位跃变势垒或表面势垒，例如 PN 结耗尽层或载流子集结层的电容器或电阻器；半导体本体或其电极的零部件	16674	9201
4	H01L 31/00	对红外辐射、光、较短波长的电磁辐射，或微粒辐射敏感的，并且专门适用于把这样的辐射能转换为电能的，或者专门适用于通过这样的辐射进行电能控制的半导体器件；专门适用于制造或处理这些半导体器件或其部件的方法或设备；其零部件	10879	5605
5	H01L 23/00	半导体或其他固态器件的零部件	7367	3855
6	H01L 27/00	由在一个共用衬底内或其上形成的多个半导体或其他固态组件组成的器件	6740	3379
7	H01L 51/00	使用有机材料作有源部分或使用有机材料与其他材料的组合作有源部分的固态器件；专门适用于制造或处理这些器件或其部件的工艺方法或设备	4652	1938
8	C30B 29/00	以材料或形状为特征的单晶或具有一定结构的均匀多晶材料	2201	1127
9	C23C 16/00	通过气态化合物分解且表面材料的反应产物不留存于镀层中的化学镀覆，例如化学气相沉积	1678	946
10	H05B 33/00	电致发光光源	1328	631

表 5 欧美第三代半导体器件专利申请排名前十机构

序号	机构英文名	机构中文名	申请量	授权量
1	International Business Machines Corporation	国际商业机器公司	1158	899
2	Applied Materials, Inc.	应用材料	1021	617
3	Infineon Technologies Ag	英飞凌	903	648
4	GlobalFoundries Inc.	格罗方德	805	666
5	Intel Corporation	英特尔	570	300
6	Osram Opto Semiconductors GmbH	欧司朗光电半导体	557	333
7	Cree, Inc.	科锐	528	472
8	DowDuPont Inc.	陶氏杜邦	488	248
9	Texas Instruments Incorporated	德州仪器	481	352
10	Micron Technology, Inc.	镁光科技	446	338

3.2 日韩第三代半导体器件领域机构分析

日韩第三代半导体器件专利申请排名前十机构如表 6 所示，全部为企业。除三星电子和乐金伊诺特为韩国企业之外，其他均为日本企业。三星电子是全球领先的半导体企业，2018 年因存储器业务爆发而超越英特尔排名全球第一，其在各种第三代半导体材料与器件上均有布局；乐金伊诺特为 LG 集团旗下的 LED 生产商，在 GaN 半导体照明领域有一定的技术积累。对于日本企业，住友电气工业和日立已经可以批量生产 GaN 衬底，松下、三菱机电、

索尼和东芝也开展了大量相关研究；夏普则在 InGaN 光伏电池及 LED 领域有较多技术积累；日亚（Nichia）公司的中村修二基于 GaN 和 InGaN，在 1993 年首次制造出具有商业价值的蓝光 LED，并以此获得 2014 年诺贝尔物理学奖，日亚也是除欧司朗外另一家的能够提供 GaN 激光器的企业，但该公司在日本企业中专利申请量较少。另外，从第三代半导体器件的专利申请与授权数量总体水平来看，日韩企业比欧美企业要更加积极一些，但产业水平并不高于欧美，且不够全面。

表 6 日韩第三代半导体器件专利申请排名前十机构

序号	机构英文名	机构中文名	申请量	授权量
1	Samsung Electronics Co., Ltd.	三星电子	3414	2252
2	Panasonic Corporation	松下	3097	1783
3	Toshiba Corporation	东芝	2727	1505
4	Sumitomo Electric Industries, Ltd.	住友电气工业	2268	1403
5	Hitachi, Ltd.	日立	2202	1177
6	Mitsubishi Electric Corporation	三菱电机	1492	1149
7	Sharp Corporation	夏普	1419	899
8	LG Innotek Co., Ltd.	乐金伊诺特	1310	896
9	Fujitsu Ltd	富士通	1304	858
10	Sony Corporation	索尼	1032	742

3.2 中国第三代半导体器件领域机构分析

中国第三代半导体器件专利申请排名前十机构如表 7 所示。其中，台积电、晶元光电、联华电子和友达光电均为台湾地区企业。台积电和联华电子分别为全球排名第一和第四的晶圆代工厂商，在第三代半导体器件制造上有较多专利布局；晶元光电和友达光电均为 LED 厂商，友达光电还是全球第三大显示屏厂商，在 InGaN 衬底 LED 上有一定的技术积累；工业技术研究院则为带有官方色彩

的民间研究机构，在包括 ZnO 在内的第三代半导体器件技术上均有专利布局。对于中国大陆，中国科学院、西安电子科技大学为科研机构，其中，中国科学院旗下申请第三代半导体器件相关专利的机构主要有中国科学院半导体研究所、中国科学院物理研究所、中国科学院微电子研究所、中国科学院上海光学精密机械研究所、中国科学院金属研究所和中国科学院重庆绿色智能技术研究院等；中芯国际为中国大陆晶圆代工龙头企业，在

SiC、GaN 薄膜和 ZnO 纳米线场效应晶体管上有一定的技术布局；京东方为中国大陆显示屏龙头，申请了一些 ZnO 制备的相关专利；三安光电为中国大陆 LED 龙头企业，在 GaN

衬底 LED 制造技术上集中申请了大量专利。可以看到，中国大陆地区在第三代半导体器件专利的申请上，高校与科研院所占比比较高，而台湾地区基本上以企业为主。

表 7 中国第三代半导体器件专利申请排名前十机构

序号	机构英文名	机构中文名	申请量	授权量
1	Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. Ltd.	台积电	1424	1149
2	Chinese Academy of Sciences	中国科学院	1394	713
3	Semiconductor Manufacturing International Corporation	中芯国际	915	543
4	EPISTAR Corporation	晶元光电	800	640
5	BOE Technology Group Co., Ltd.	京东方	648	362
6	United Microelectronics Corp.	联华电子	593	417
7	Industrial Technology Research Institute	工业技术研究院	489	342
8	Xidian University	西安电子科技大学	487	215
9	AU Optronics Corporation	友达光电	477	342
10	Sanan Optoelectronics Co., Ltd.	三安光电	283	209

我国在“863”计划中部署了多项第三代半导体材料及器件相关项目，例如：“基于 SiC 衬底的大功率 GaN 基 LED 制造技术”、“2 英寸以上半绝缘 SiC 材料与 GaN HEMT 微波功率器件”、“SiC 单晶衬底制备”、“基于半导体照明 LED 用 SiC 单晶衬底制备”、“LED 外延生长用 SiC 衬底制备技术研究”等，并在《中国制造 2025》中四次提到了第三代半导体功率器件。2018 年 7 月，国内首个《第三代半导体电力电子技术路线图》正式发布。路线图主要从衬底 / 外延 / 器件、封装 / 模块、SiC 应用、GaN 应用这四个方面展开论述，提出了中国发展第三代半导体电力电子技术的路径建议和对未来产业发展的预测。到目前为止，中国大陆已有四条 4/6 英寸 SiC 生产 / 中试线 and 三条 GaN 生产 / 中试线相继投入使用，并在建多个

与第三代半导体相关的研发中试平台。国产第三代半导体单晶衬底、外延片所占市场份额不断扩大，国产 SiC 二极管和 MOSFET（金属氧化物半导体场效应晶体管）开始进入市场，国产 GaN 微波、射频器件在国防和通讯领域发挥主导作用，但总体上与科锐等国际巨头相比仍有较大差距。

4 结论及建议

全球共申请第三代半导体器件相关专利 111408 件，授权 63773 件，且超过九成来自中、美、日、韩四国。在近三十年这段期间，第三代半导体器件相关专利申请量年复合增长率为 9.73%。第三代半导体器件相关技术可归纳为制造及相应设备、应用这两大类，制造及相应设

备涉及的 IPC 组主要包括 H01L 21/00- 半导体制造工艺与设备、C30B 29/00- 单晶生长、C23C 16/00- 化学气相沉积、H01L 23/00- 封装, 应用涉及的 IPC 子类主要包括 H01L 33/00- 半导体照明 (LED) 和激光器、H01L 29/00- 电力电子器件、H01L 31/00- 光伏电池。美、日、韩、德四国在第三代半导体器件技术上有深厚积累, 尤其是美国, 其第三代半导体材料与器件技术最为全面, 在 SiC、GaN、AlN 衬底及器件上的产业化均走在世界前列。

基于上述结论, 为发展我国第三代半导体器件产业, 本文提出如下三点建议:

第三代半导体器件是对第一代、第二代半导体器件的补充而非替代, 我国不能幻想“弯道超车”, 必须脚踏实地补齐短板。硅和化合物半导体是两种互补的材料, 化合物的某些性能优点弥补了硅晶体的缺点, 而硅晶体的生产工艺又有明显优势, 且两者在应用领域上都有一定的局限性。因此, 在半导体的应用上需将二者兼容, 取各自的优点, 从而设计并生产出总体性能更高、功耗与成本更低的产品。另外, 第三代半导体器件相关制造工艺与制造制备与前两代有许多共通之处, 甚至有些可以完全共用, 因此, 补齐第一代、第二代半导体制造、材料和装备上的短板, 同样会促进第三代半导体器件发展, 两者并行不悖、相辅相成。

我国应利用自身市场优势, 着力培养第三代半导体产业专业龙头企业, 并吸引国际伙伴进行合作。利用我国自身庞大的市场需求, 不断拓宽第三代半导体器件下游应用领域, 进而拉动整条产业链发展, 在这一领域培育出科锐这样的世界级企业。另一方面, 中国是全球最

大的电子元器件市场, 这使得全球任何一家第三代半导体产业公司都不可避免地重视中国需求, 为我国企业引进相关技术与人才来发展这一产业创造了有利条件。

在追赶国际上先进技术的同时, 力争实现跨越式发展。随着第三代半导体器件技术的不断发展, 各种新材料和新架构层出不穷。另一方面, 我国在第三代半导体产业上相对于国际先进水平的落后程度要低于第一代、第二代半导体产业, LED 产业基础雄厚, 且第三代半导体电力电子器件采用的是传统的 6/8 英寸线工艺, 对制造工艺的要求相对较低, 可以 GaN 器件为突破口予以大力发展, 对相关研究工作予以重点支持, 并抢先布局相关行业标准。

参考文献

- [1] 郝跃. 宽禁带与超宽禁带半导体器件新进展 [J]. 科技导报, 2019, 37(3): 58-61.
- [2] 王家鹏, 贺东葛, 赵婉云. 碳化硅材料研究现状与应用展望 [J]. 电子工业专用设备, 2018, 47(04): 23-26.
- [3] 赵小宁, 李秀清. 国外军事和宇航应用宽带隙半导体技术的发展 [J]. 半导体技术, 2009, 34(7): 621-625.
- [4] 蔡志清. 氮化镓技术在雷达中的应用现状与发展趋势 [J]. 电子技术与软件工程, 2019(4): 79-80.
- [5] 唐林江, 陈滔, 张宝林, 万成安. GaN 基半导体技术的空间应用研究与展望 [J]. 空间电子技术, 2018, 15(2): 60-67.
- [6] 陈秀芳, 杨祥龙, 徐现刚, 等. 第三代半导体材料在 5G 通讯领域的发展与机遇 [J]. 新材料产业, 2018(1): 43-46.

- [7] Taylor A, Lu J, Zhu L, et al. Comparison of SiC MOSFET-based and GaN HEMT-based high-efficiency high-power-density 7.2 kW EV battery chargers[J]. IET Power Electronics, 2018, 11(11):1849-1857.
- [8] 尹越, 田婷, 刘志强, 等. 共晶焊倒装高压 LED 的制备及性能分析 [J]. 照明工程学报, 2019, 30(1):26-31.
- [9] Li J M Liu Z, Liu Z Q, et al. Advances and prospects in nitrides based light-emitting-diodes [J]. Journal of Semiconductors, 2016, 37(6): 5-18.
- [10] Roccaforte F, Frazzetto A, Greco G, et al. Critical issues for interfaces to p-type SiC and GaN in power devices [J]. Applied Surface Science, 2012, 258(21): 8324-8333.
- [11] 陈思哲. 高压 SiC JFET 器件的设计、制备与应用研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [12] 史冬梅, 杨斌, 蔡韩辉. III 族氮化物第三代半导体材料发展现状与趋势 [J]. 科技中国, 2018(4):15-18.
- [13] 林兴浩. 基于科学计量的第三代半导体照明材料全球研究态势分析 [J]. 科技创新发展战略研究, 2017, 1(1):108-116.
- [14] 吴菲菲, 张亚茹, 黄鲁成, 苗红. 基于专利的氧化锌宽禁带半导体材料技术中外比较 [J]. 情报杂志, 2015, 34(11):62-68+149.
- [15] 张莹. 组织内部协作网络特征对二元创新绩效的影响——基于半导体企业专利数据分析 [J]. 情报工程, 2018, 4(2):73-82.
- [16] 杨静, 杨洪星. 几种典型宽禁带半导体材料的制备及发展现状 [J]. 电子工业专用设备, 2016, 45(8): 20-23.
- [17] 马平, 魏同波, 段瑞飞, 王军喜, 李晋闽, 曾一平. 蓝宝石衬底上 HVPE-GaN 厚膜生长 [J]. 半导体学报, 2007(6):902-908.