



# **抓住关键窗口期，抢占第三代半导体战略制高点 ——2016 第三代半导体国际论坛（IFWS）总结**

第三代半导体产业技术创新战略联盟(CASA)  
第三代半导体国际论坛（IFWS）组委会  
2016 年 12 月

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 一、论坛概况.....                        | 4  |
| 二、技术最新动态及趋势.....                   | 7  |
| 1、碳化硅电力电子器件已初步具备产业化应用条件.....       | 7  |
| 2、氮化镓电力电子器件具备在小功率范围率先应用的技术和经济优势 .. | 7  |
| 3、第三代半导体高频特性将在新一代移动通信中发挥重要作用 ..... | 8  |
| 4、第三代半导体材料的固态紫外器件技术有待实用化 .....     | 8  |
| 三、论坛达成的共识及成果.....                  | 9  |
| 1、第三代半导体将是推动人类绿色发展的重要支撑.....       | 9  |
| 2、中国开展第三代半导体技术研发和产业布局刻不容缓.....     | 11 |
| 3、中国正在成为全球第三代半导体创新合作及创业新热土.....    | 12 |
| 附件一：分会精彩回顾 .....                   | 14 |
| 分会一：碳化硅电力电子器件技术 .....              | 14 |
| 分会二：氮化镓及其它新型宽禁带半导体电力电子器件技术.....    | 21 |
| 分会三：第三代半导体与新一代移动通信技术.....          | 26 |
| 分会四：第三代半导体与固态紫外器件技术 .....          | 31 |
| 附件二：会议赞助鸣谢 .....                   | 36 |
| 附件三：媒体支持鸣谢 .....                   | 37 |

## 抓住关键窗口期，抢占第三代半导体战略制高点

### ——2016 第三代半导体国际论坛总结

2016 年 11 月 15 日至 17 日，2016 中国（北京）跨国技术转移大会暨第三代半导体国际论坛在北京国际会议中心隆重召开。



作为大会的重点领域，第三代半导体国际论坛（IFWS）大会在北京市科学技术委员会的指导和中关村科技园区顺义园管理委员会等的支持下，以及第三代半导体产业技术创新战略联盟（CASA）的精心组织下，从最前沿的信息把握、产学研的合作促进、技术的转移转化、推动国际及国内政产的合作创新等方面均取得了显著的成果，对促进我国第三代半导体的快速发展，抢占战略制高点，促进全球产业经济的绿色发展具有重要意义。会议获得了国家科学技术部、国家发展与改革委员会、国家工业与信息产业部和北京市人民政府的大力支持和好评，相关学会、联盟和机构也积极协助参与其中，并与跨国技术转移大会的“健康产业”“绿色发展”“新一代信息技术”专场形成了良好的互动融合，形成了“一会融多方、合力促发展”的良好局面。

## 一、论坛概况

IFWS 论坛总体具有学术水平高、参与层面广、引领性强、国际化程度高的特征。论坛由国家科技部原副部长曹健林，南京大学电子科学与工程学院教授、中国科学院院士郑有料担任大会中方主席，诺贝尔奖得主、蓝光 LED 发明人中村修二，荷兰代尔夫特理工大学教授、IEEE 电力电子学会主席 Braham Ferreira 担任大会外方主席。论坛共有注册代表 932 人，涵盖美国、英国、德国、意大利、俄罗斯、荷兰、日本、澳大利亚等 19 个国家以及港澳台地区。此次论坛共向全球征集优质论文 114 篇，经过程序委员会严格筛选，推荐 37 篇优秀论文全文发表在 IEEE Xplore 电子图书馆，并获得 EI 检索资质。论坛从 SiC 和 GaN 两种材料的单晶衬底、外延、器件工艺、封装和应用等方面，均有国内外技术和产业界的顶尖专家学者进行报告演讲和交流讨论，涉及内容都是当前技术的核心和热点。



国家科技部原副部长 曹健林

在 11 月 15 日技术转移大会开幕式上，诺贝尔奖得主、蓝光 LED 发明人中村修二代表第三代半导体领域进行了大会致词，4 个第三代半



导体的国际合作项目进行了签约。在大会主题报告会上，3 位在国际上有影响的第三代半导体领域的专家分别就第三代半导体的重要意义、国内外的的发展现状及趋势、不同国家的战略措施等进行了报告，引起参会人员极大关注。



诺贝尔奖得主、蓝光 LED 发明人 中村修二



第三代半导体产业技术创新战略联盟理事长 吴玲

吴玲则提出，绿色低碳发展已经成为全球的共识，第三代半导体不仅对于节能环保作用巨大，对解决能源及环境面临的严峻挑战意义重大，

对下一代信息技术的可持续发展也有很强的支撑作用。第三代半导体将是推动人类绿色发展的重要支撑。

11月16-17日两天的IFWS论坛围绕第三代半导体“两种材料（碳化硅、氮化镓）和三大应用方向（电力电子、光电子和微波射频）”展开，共设碳化硅电力电子器件技术，氮化镓及其它新型宽禁带半导体电力电子器件技术，第三代半导体与新一代移动通信技术和第三代半导体与固态紫外器件技术四个分会。在半导体照明领域，会议将第十三届中国国际半导体照明论（SSL）纳入大会，设置了开闭幕式2场主题大会，材料与装备、光品质与健康医疗照明、生物农业光照技术等7场技术分会，照明设计与创新应用等2场产业峰会，1个MOCVD技术培训。2016 SSL 参会人数达到了1556人。整个论坛无论从报告质量及参会人数均创新高，同时也在产业的创新合作促进上取得了很大的收获。

与会人员普遍认为本次论坛是第三代半导体领域在国际上的首次大规模盛会，学术水平很高，对促进第三代半导体技术和应用的国际交流与合作，特别是中国第三代半导体的发展战略的制定，引领第三代半导体新兴产业的发展方向具有重要的意义。



开幕式会场



会场交流

## 二、技术最新动态及趋势

从论坛报告、论文以及参会人员活动的情况透露出的第三代半导体产业技术的重要动态及趋势主要有如下几点。

### 1、碳化硅电力电子器件已初步具备产业化应用条件

SiC 器件已成为电源转换应用中非常具有技术和性能优势的一种电力电子器件，与常规的硅器件相比，它功率损耗更小，能量转换效率更高，正在成为未来先进的电力电子系统。现阶段碳化硅电力电子器件可以在中小功率开展应用，比如光伏逆变器、车载充电机等。但产品性能和可靠性提升还有大量的科学和技术问题需要解决，需要实现高质量、可批量的衬底和外延技术，实现碳化硅 MOSFET 芯片性能的提升和成本的不断下降，实现芯片封装技术的突破，以及在新能源并网，电动汽车充电等方面的应用研发，为未来的产业化打下了坚实的基础。

### 2、氮化镓电力电子器件具备在小功率范围率先应用的技术和经济优势

大尺寸 Si 基 GaN 电力电子器件将越来越受到重视。GaN 电力电子技术将成为下一代电源适配器、光伏逆变器、白色家电等领域现有 Si 器件的替代者。目前国际上已经有产品开始销售，预计 2017 年会起量，主要面向消费类电子产品，对可靠性要求相对较低，GaN 电力电子器件相较于 SiC 电力电子器件具有成本优势和较好的性能，因此从产业化应用角度有可能后来居上。但目前国内的产业链构建和应用环境方面还较差，需要应用方、器件生产方、材料生产方紧密合作，根据终端应用需求，共同解决材料、器件设计和制备问题。

### 3、第三代半导体高频特性将在新一代移动通信中发挥重要作用

在移动通信领域，高频化是整个技术发展的核心，高频和宽带是射频通道向 5G 演进面临的主要挑战。现有主流 Si LDMOS 技术最高工作频率仅 3.6GHz，且宽带窄、效率增益提升已接近极限，无法满足 5G 及未来 5G 系统的应用需求。业界公认 GaN 功率放大器将成为移动通信基站的主流技术，正向高频率、大带宽、高效率快速演进，在移动通信领域的应用全面启动，数家巨头整合投入，市场格局面临重新洗牌。但目前高频器件的设计、制备与测试、GaN 射频器件的散热技术、增益提升、高度集成化等方面需要突破，将成为未来产业化的焦点。

### 4、第三代半导体材料的固态紫外器件技术有待实用化

LED 发光技术已突破传统的照明概念，沿长波方向已从蓝光拓宽到绿光、黄光、红光，发展“超越照明”，开拓在生物、农业、医疗、保健、航空、航天和通信等领域应用；沿短波方向已发展高效节能、环境友好、智能化的“紫光光源”，期望逐步取代电真空紫外光源，开启紫外技术和应用的变革，预计到 2020 年紫外 LED 光固化模组的渗透率将达到 50%-60%。现阶段，固态紫外器件的实用化，还需要在铝镓氮、氮化镓等紫外发光材料和以碳化硅、氮化镓为代表的紫外探测材料，以及关键制备工艺、封装材料等方面的技术突破。



### 三、论坛达成的共识及成果

以氮化镓(GaN)、碳化硅(SiC)等宽禁带化合物为代表的第三代半导体材料已引发全球瞩目,成为全球半导体研究前沿和热点。第三代半导体具备禁带宽度大、击穿电场高、热导率大、电子饱和漂移速率高、抗辐射能力强等优越性能,是固态光源、下一代射频和电力电子器件的“核芯”,在半导体照明、消费类电子、5G 移动通信、智能电网、轨道交通、雷达探测等领域有广阔的应用前景。多数专家代表在会上达成的共识主要有:

#### 1、第三代半导体将是推动人类绿色发展的重要支撑

在技术转移大会的主题大会上, 美国工程院院士、美国弗吉尼亚理工大学教授 Fred C. LEE、 第三代半导体产业技术创新战略联盟理事长吴玲女士, IEEE 电力电子学会主席、荷兰代尔夫特理工大学教授 Braham Ferreira 向大会汇报了中国及全球第三代半导体的发展情况, 其观点得到了大部分参与人员赞同。



美国工程院院士、美国弗吉尼亚理工大学教授 Fred C. LEE

Fred C. LEE 指出，以 SiC 和 GaN 为代表的宽带隙半导体能够显著降低损耗，2012 年全球电能损耗大约是 20000TWH，如果实现 1%的能效提升将节省 160TWH，相当于 2 个三峡的发电量。GaN 可实现高频应用，显著提高功率密度。数据中心未来将带来大量的能耗，预计到 2020 年占到整个能耗的 10%。目前的系统总体效率是 73%，如果采用 GaN 电力电子器件并从结构上整体优化，能将效率提升到 87%。



IEEE 电力电子学会主席 Braham Ferreira

Braham Ferreira 认为到 2030 年技术会重新塑造我们的社会和世界，第一个重要的技术就是半导体电力设备。2030 年硅技术已无法实现高动力应用需求，而宽禁带半导体则完全可以实现，而且还可以在医疗、物联网上很好的应用。

美国加州大学教授、2014 年诺贝尔物理学奖获得者中村修二在跨国技术转移大会开幕致词中也表示，中国已经成为目前全球最大的半导体照明产品的生产基地和消费市场，在光电子、电力电子、微波射频等领域还有巨大的科技创新和产业化机会。

## 2、中国开展第三代半导体技术研发和产业布局刻不容缓

第一代半导体材料（硅）渐趋摩尔定律的极限，第二代半导体材料（砷化镓和磷化铟）主要应用于通信，而第三代半导体材料（碳化硅和氮化镓）凭借其宽禁带、高热导率、高击穿电场、高抗辐射能力等特点，逐渐成为新一代半导体材料的热点，有着巨大的市场应用潜力。预计到2020年，第三代半导体技术应用将在节能减排、信息技术、国防三大领域催生上万亿元的潜在市场，而碳化硅和氮化镓器件很可能成为推动整个电力电子、光电子和微波射频三大领域效率提升和技术升级的关键动力之一。国际上第三代半导体产业整体进入产业形成期，开始步入激烈竞争的阶段，众多国家将其列入国家战略，这预示着一旦突破产业化技术瓶颈，将会带动上下游产业的全面爆发。因此，在现阶段我国产业界必须把握这一难得的机遇期，优先开展第三代半导体技术研发和产业布局刻不容缓。

北京市科委双新处许心超处长、王红梅副处长在论坛致辞中表示，为了抢占技术制高点，北京市已将第三代半导体列为“十三五”时期加强全球科技创新中心建设的重要任务之一，并作为专项列入北京科技创新行动计划。在第三代半导体领域北京市围绕“1234”进行了总体布局：“1”个基地，即承接国家第三代半导体重大创新基地建设；“2”种材料，即重点聚焦碳化硅、氮化镓两种材料；“3”条主线，围绕光电子、电力电子、微波射频三条应用主线；“4”项任务，即关键技术突破、创新链条构建、成果孵化转化和产业集群建设。市科委在从材料到器件到应用进行创新链的系统布局外，还在体制机制方面进行了创新推进，委托第三代半导体联盟进行技术和产业发展路线研究和项目组织管理，同时鼓励国内外合作，引进国外最优秀的项目和团队。政府

将营造良好的环境，整合更多的资源和力量，共同推动北京第三代半导体技术和产业的发展。

### 3、中国正在成为全球第三代半导体创新合作及创业新热土

在国际技术转移大会上共有 15 组国际合作项目代表在仪式上进行了现场签约，其中第三代半导体产业技术创新战略联盟与荷兰代尔夫特理工大学的“共建第三代半导体研发合作平台”；国家半导体照明工程研发及产业联盟与欧洲光电协会的“中欧先进半导体发展合作行动计划”；国家半导体照明工程研发及产业联盟与马来西亚中国丝路商会的“中马‘照亮‘一带一路’东盟行动计划’战略合作；”国家半导体照明工程研发及产业联盟与奥地利鲁格尔创新及技术研究院的“共建半导体照明技术创新平台”4 个项目作为大会的国际平台合作项目进行了签约。



第三代半导体产业技术创新战略联盟与荷兰代尔夫特理工大学的“共建第三代半导体研发合作平台”签约



此外，在科学技术部火炬高技术产业开发中心、北京市科学技术委员会、广东省科学技术厅的指导和支持下，第三代半导体产业技术创新战略联盟（CASA）和国家半导体照明工程研发及产业联盟（CSA）联合主办的“黄金半导·创新未来——首届国际第三代半导体创新创业大赛也在大会期间进行了决赛。本次大赛经过三个月的项目征集，共收到 269 个海内外项目报名，其中通过初审并具有自主知识产权的高新技术项目共 108 个。这些技术项目涉及半导体照明、光电子、电力电子、微波射频领域，具体包含传感器、LIFI 技术、OLED 显示、5G、紫外光源、无线充电、智慧城市应用等多个前沿科技核心技术。大赛通过初审、复赛、半决赛、总决赛的层层筛选，10 个创新创业团队脱颖而出。为了更好地激发创新创业内在活力，提高科技创新转化速度，大会组委会成立了上亿元投资基金池。



首届国际第三代半导体创新创业大赛

中国由于巨大的市场空间及在第三代半导体良好的发展氛围正在吸引着全世界的目光，越来越多的技术及创业团队愿意落地中国，如何把握机会并用好国际资源需要我们进一步思考。



## 附件一：分会精彩回顾

### 分会一：碳化硅电力电子器件技术

“碳化硅电力电子器件技术”分会由浙江大学教授，教育部长江学者，特聘教授，博士生导师盛况担任中方主席，美国伦斯勒理工大学教授周达成受邀担任外方主席。

美国伦斯勒理工大学周达成教授分享了在高压 SiC 功率器件方面的最新进展，SiC 器件与常规的硅器件相比，功率损耗更小，能量效率更高，正在冲击先进的电力电子学系统，是一个非常理想的实用性的材料，也足以让我们去进行大规模的生产。目前 Cree、Rohm 和 ST 公司可提供商业化的 1200-1700V SBD 和 MOSFET。但 SiC 功率器件需要在长期可靠性和低成本方面继续努力，主要的挑战包括实现与 Si 器件相同的稳定性和可靠性，成本和批量化生产能力，专业化的代工厂，超高压器件与相匹配的电源转换器架构等。



美国伦斯勒理工大学周达成教授

澳大利亚格里菲斯大学微电子工程学院教授Sima DIMITRIJEV 分享电力电子设备的后硅时代主题报告。除了 Si 以外，SiC 是目前唯一能实现商业化 MOSFET 器件的材料，而且具有高的击穿电压、低能量损耗和高转换频率。采用商业化的 4H-SiC 外延片，其团队已开发出 1700V 以下低成本的 SiC SBD，希望寻找合作伙伴进行技术转化。



澳大利亚格里菲斯大学微电子工程学院教授 Sima DIMITRIJEV

西安交通大学张安平教授在报告中指出，大范围的电力传输要求采用高质量的电力传输设备和基础设施，我们的电网要实现更加灵活的结构和控制方式，实现柔性、智能化输配电，现有的 Si 器件是无法实现的，SiC 器件非常有优势。目前影响器件性能的主要是缺陷和界面态，张教授分析了不同缺陷对器件性能和可靠性的影响，基平面位错和点缺陷是影响双极型器件性能和可靠性的关键，并提出采用高温热处理和碳注入的方式减少材料缺陷。



西安交通大学教授 张安平



日本名古屋大学教授 宇治原徹

日本名古屋大学教授宇治原徹在“高质量碳化硅的溶液生长”主题报告中表示，现有主流的碳化硅晶体生长技术是升华法，可实现 4-6 英寸零微管的衬底。但晶体生长中容易出现高密度的缺陷，阻碍了 SiC 器件性能的提升和成本的降低。液相生长法被认为是产生高质量 SiC 晶体的有效方法。对于块体晶体生长，通常采用顶部晶种溶液生长(TSSG)方法。在该方法中，晶体由碳坩埚中的硅基溶剂生长而成，过程中碳元

素从坩埚进入溶剂。目前可实现 3 英寸 SiC 晶体，生长速度 2mm/h，厚度 20mm。TSD 达到 11/cm<sup>2</sup>，TED 达到 204/cm<sup>2</sup>，BPD 达到 64/cm<sup>2</sup>。但最大的问题是为了加速生长速率，加入了一些杂质，导致晶体的纯度不够。

韩国东义大学的 Won-Jae LEE 教授分享了韩国 SiC 材料和器件的最新进展，韩国已经启动了 SiC 相关的国家项目，重点围绕四个方面，一是高纯 SiC 粉末制备，二是高纯 SiC 多晶陶瓷，三是高质量 SiC 单晶生长，四是高质量 SiC 外延材料生长。目前，LG Innotek 可提供商用的高纯 SiC 粉末，POSCO、SKC 和 SapphireTech 公司可提供 6 英寸 SiC 单晶衬底，LG Innotek 也将于近期开始提供 SiC 外延片。在功率器件方面，韩国也启动了功率电子方面的国家项目，重点围绕 Si 基 GaN 和 SiC。Maple Semiconductor（美林浦公司）和 Hyundai（现代）签署了合作协议，采用 KERI 的技术开发 1200V/10-40A 的 SiC MOSFET，用于电动汽车。LG、SK、Samsung 也对 SiC 器件和系统应用表示出了极大的兴趣。



韩国东义大学教授 Won-Jae LEE



浙江大学盛况教授分享了 SiC MOSFET 的发展历程和存在的问题，第一个挑战就是对 6000 伏以上的高压应用，需要更高的电流，受材料方面的限制还需要更长的时间；第二从系统角度来说，目前的电路和封装技术主要是面向 Si 器件的，受到现有封装材料高温性能、电感器件高频性能、门极驱动性能的限制和影响。第三，SiC 器件的优势在于整个系统级，但对于器件本身来说成本是高的，影响了它的推广，而且其高温特性也没有很好的发挥。



浙江大学教授 盛况

山东大学徐现刚教授指出，对于 SiC 器件除了高电压外，大电流也很关键，这样才能实现大功率。但大电流要求大的芯片面积，如果材料质量不行，合格率将非常低，严重影响性能和成本。但目前产业对材料的关注度还不够，材料问题不解决，应用很难做起来。国内可以实现 4 英寸 SiC 衬底的产业化，6 英寸的还在研发中，微管密度 2-3 英寸控制在  $0.5/\text{cm}^2$ ，4 英寸控制在  $1/\text{cm}^2$ ，6 英寸控制在  $5/\text{cm}^2$ ，主要问题还有位错和外延引起的缺陷。SiC 不同的生长方向生长速率是各向异性的，可以通过侧向生长的方法减少位错。





山东大学教授 徐现刚



天津大学教授、美国弗吉尼亚理工大学终身教授 陆国权

天津大学教授、美国弗吉尼亚理工大学终身教授陆国权分享了第三代半导体器件封装方面面临的挑战，以实现高的工作温度、高的开关频率和高可靠。一是实现芯片与基底的互联材料和技术，二是基板的材料和覆铜技术，三是实现三维集成提高转换效率。陆教授也分享了其与通用汽车的合作项目，利用碳化硅来做电子组件，做下一代的雪铁龙的汽车部件，实现更高的功率密度。

中电集团 55 所的柏松教授在报告中指出, 55 所目前能够实现 3 英寸 SiC 外延, 厚度达到 100mm 和 150mm, 生长速率达到 30 微米/小时, 量产 600-2500V 的 SiC SBD, 开发出 1200V-3300V 的 SiC MOSFET 原型器件, 正在进行中试。1200V 的 SiC SBD 已经应用于光伏逆变器, 2500V 的 SiC SBD 应用于高压电源, 减少了电路的复杂性, 提升了效率。1700V/1200A 的混合模块 (Si IGBT 和 1700V/25A 的 SiC SBD) 正在测试和可靠性验证中。下一阶段将开发 20kV 以上的 SiCPiN 和 SiC IGBT。

国家电网全球能源互联网研究院李卫国博士分享了碳化硅器件在电力电子换流器应用的发展现状和展望。碳化硅三个主要特点是高压、高速和高温。因此从高温的碳化硅驱动、高温的碳化硅保护、高温元器件选择方面进行了研究和产品开发, 实现 SiC 器件在零下 10 度到 180 度间工作。目前的挑战一方面是需要器件的耐压提高, 另一个就是采用串联技术, 要保证系统的高可靠、高效率、控制简化, SiC IGBT 是首选。



中电集团 55 所教授 柏松



国家电网全球能源互联网研究院博士 李卫国

## 分会二：氮化镓及其它新型宽禁带半导体电力电子器件技术

“氮化镓及其它新型宽禁带半导体电力电子器件技术”分会由山东大学校长张荣教授和北京大学宽禁带半导体联合研究中心常务副主任张国义教授联合担任中方主席，美国弗吉尼亚理工大学教授、美国工程院院士 Fred C. LEE 担任外方主席。



美国弗吉尼亚理工大学教授、美国工程院院士 Fred C. LEE

美国麻省理工学院张宇浩博士代表 Tomas Palacios 教授分享了其课题组在垂直结构 GaN 功率器件方面的研究进展。平面型 GaN 功率器件的优势在于高的迁移率（二维电子气）和低的导通电阻，而挑战在于解决可靠性和常开型控制问题。垂直型 GaN 功率器件的优势在于无需增加芯片尺寸实现大电流和高的击穿电压，更好的可靠性和更好的热性能。而实现低成本高性能的垂直型 GaN 功率器件关键问题在于载流子沟道结区、漂移区和衬底材料。已实现 Si 基 GaN 垂直型二极管，耐压 500V， $1\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 。GaN 同质衬底实现垂直型晶体管，常关型（无 p-GaN）耐压超过 600V， $0.36\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 。



苏州纳米技术与纳米仿生研究所孙钱研究员报告了其课题组在 Si 基 GaN 常关型器件方面的研究进展。采用 p-GaN 栅是目前主流的常关型器件解决方案，美国和日本已经有产品开始销售。主要的技术挑战在于 Mg 的掺杂扩散和选区刻蚀。松下可提供 600V 的器件，苏州纳米所可实现大于 300V。



美国麻省理工学院博士 张宇浩



苏州纳米技术与纳米仿生研究所研究员 孙钱

台湾交通大学张翼教授分享了其实验室在 GaN HEMT 材料及器件制备方面的进展。采用阶梯式 AlGaIn 超晶格结构缓冲层、低温插入层和 AlGaIn 背垒层，获得了高质量的 Si 基 GaN 材料，实现 600V 耐压；器件制备方面采用了 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> 钝化层、铜金属化的无金工艺，实现了常关型 GaN MIS-HEMT，无滞后效应且改进了动态开关特性；应用方面采用 GaN 功率器件实现了 48V/5A 电源转换装置，将频率提高到 300kHz，实现更低的转换损失；与松下合作开发 GaN 栅极驱动应用，实现微波驱动的单芯片驱动 IC，由单一系统同时提供独立信号和电源，这方面台积电也在做，而且做得很好能够代工。

苏州晶湛半导体有限公司总裁程凯博士介绍了 Si 基 GaN 材料的最新进展，Si 衬底上生长 GaN 材料主要面临开裂、翘曲和缺陷的问题。与 SiC 材料相比具有成本优势，目前基于 Si 基 GaN 可实现 600V 的垂直



型二极管，GaN 外延层厚度超过 5 微米，可提供商业化的 6 英寸外延材料和器件。未来大规模产业化需要材料厂商和器件厂商的紧密合作。



台湾交通大学教授 张翼

日本名古屋工业大学江川孝志教授介绍了 Si 基 GaN 外延材料和器件的研究进展，采用 8 英寸 Si 衬底，通过 AlGa<sub>N</sub> 超晶格结构实现超过 7 微米厚无裂纹的外延材料，成功制备了常关型 MIS-HEMT 器件，耐压达到 1650V。



日本名古屋工业大学教授 江川孝志



苏州晶湛半导体有限公司总裁 程凯博士



香港科技大学教授 陈敬

香港科技大学陈敬教授介绍了金属-绝缘层-半导体（MIS）结构 Si 基 GaN HEMT 器件的研究进展，目前 MIS 结构还没有实现产业化，但从使用角度还是一个很有竞争力的技术路线。这种栅槽结构可以有效提高 AlGaIn/GaN HEMT 的栅调控能力，减小器件的电流崩塌，但栅槽刻蚀会导致栅极漏电增大，降低器件击穿电压。因此主要的挑战在于界面的处理和缺陷的控制。

比利时 EpiGaN 公司 CEO Marianne GERMAIN 女士介绍了其公司在 Si 基 GaN 材料外延和器件制备方面的能力，已实现 6-8 英寸 Si 基 GaN 电力电子产品（650V）和 4-6 英寸 Si 基和 SiC 基 GaN 射频产品用外延片销售。



比利时 EpiGaN 公司 CEO Marianne GERMAIN

中山大学刘扬教授分享了采用选区外延的方法实现增强型 MIS-HEMT 的技术方案。沟槽型栅结构作为一种技术路线，主要通过三种方式实现，一是干法刻蚀，二是湿法腐蚀，三是选区生长。选区生长的优势在于避免刻蚀或腐蚀引起的界面晶格损伤。研究结果证明通过选区生长的方式可以实现阈值电压稳定性和优越性。相关技术正在进行产业化转移，在 6-8 英寸衬底上实现。和北京大学、彩虹蓝光、中镓半导体在苏州吴江开发区成立了华功半导体公司，进行产业化生产。

浙江大学杨树副教授介绍了其在 Si 基 GaN 器件缓冲层方面的研究，缓冲层陷阱会俘获限制载流子影响器件的击穿电压和动态特性，垂直漏电是影响击穿电压的关键，可以通过抑制从衬底到缓冲层的电子注入提高击穿电压。



场现场交流



会场外的交流



### 分会三：第三代半导体与新一代移动通信技术

“第三代半导体与新一代移动通信技术”分会由美国加州大学洛杉矶分校特聘教授王康隆、苏州能讯高能半导体有限公司董事长张乃千、中国电子科技集团公司第十三研究所副所长蔡树军担任分会主席。



苏州能讯高能半导体有限公司董事长 张乃千



中国电子科技集团公司第十三研究所副所长 蔡树军（中）

台湾中央大学电子工程系讲座教授，台湾联合大学系统的系统副校长蔡振瀛在题目为“射频通信用 AlInN/GaN HEMT 的 MOCVD 外延生长”的报告中表示，与 AlGaIn/GaN 异质结相比，AlInN/GaN 具有更高的载流子浓度和更低的沟道电阻；6 英寸 Si 衬底上 AlInN HEMT 的薄膜电阻和迁移率可以做到  $R_{sh} < 260 \Omega / \square$ 、 $\mu > 1700 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ；Si 衬底上外延需要 AlN 缓冲层来降低散射，达到高电子迁移率；在高功率应用中需要考虑，高电子密度区域中，表面粗糙度是影响电子散射的重要因素；在 MOCVD 外延生长中，需要调节生长参数，达到最小化异质结界面上材料的相互扩散，形成平整的表面。

中兴通讯股份有限公司射频功放平台总工刘建利分享了“第三代半导体材料 GaN 器件在移动通信领域的应用”。2013 年，中国移动、中国电信的碳排放分别为 16.3 百万吨、11.6 百万吨；基站占移动通信网





台湾中央大学电子工程系讲座教授，台湾联合大学系统的系统副校长 蔡振瀛

络总能耗的 50%以上，功率放大器（PA）占基站能耗的 65%左右；5G 时代，PA 效率占系统总耗能要达到 60%以上。宽频带（300-500 MHz 带宽）、超高频（30-80GHz MMIC）、高功率（300W）、高效率（70%）、多频并发（64 通道）可以充分展示 GaN 射频器件的优势。目前 GaN 器件在基站领域的应用已经起步，2016 年市场规模超过 14 亿，GaN 的占有率约 14%，主要原因是成本高、不同功率等级不同频率的产品型号有待增加、相比于 LDMOS 的 21 dB 增益低（17-19dB）、集成度不足（PA 单独一个封装）、频段拓展（6GHz 以上微波、毫米波器件研发）、效率需要优化进一步提升。

河北半导体研究所专用集成电路国家级重点实验室外延部部长房玉龙分享了题为“高线性度的梯度缓变 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 异质结场效应晶体管（HFET）”的报告。为了抑制传统 GaN HFET 跨导下降，设计并制造了蓝宝石衬底、Ga<sub>N</sub> 层、Al 组分从 0 线性变化到 35%的 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HFET，该器件在很宽的范围内跨导线性度非常好；在蓝宝石衬底、Ga<sub>N</sub> 层、15nm 厚 5%Al 组分、15nm 厚 25%Al 组分的梯度缓变的 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HFET，该器件与线性缓变的 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HFET 相比，拥有同样比较宽且平的跨导特

性，更好的薄膜电阻、峰值跨导均匀性，更低的漏电，更陡峭的夹断特性，更高的输出功率  $P_{out}$  和附加功率效率 PAE。



中兴通讯股份有限公司射频功放平台总工 刘建利

日本德岛大学教授、西安电子科技大学教授敖金平做了题为“AlGaIn/GaN HFET 的等离子辅助低温退火欧姆工艺”的报告。N 空位和 AlGaIn 厚度降低有利于形成低温退火的欧姆接触；单 Al 层替代传统的 Ti/Al 层，在 573 度退火 3 分钟的条件下，欧姆接触可以做到接触电阻  $0.3 \Omega \text{ mm}$ ，接触电阻率  $1.1 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}^2$ 。这个低温退火欧姆工艺可用于自对准栅结构 AlGaIn/GaN HFET，避免了高温制造工艺。

台湾长庚大学教授邱显钦介绍了“SOI 衬底 GaN 技术的高性能 GaN PF 功率器件”。报告指出，开关和射频功率器件的 6 英寸 Si 衬底上 GaN 代工场已经建立；对于 GaN-on-Si 技术来讲，瓶颈问题体现在 6 英寸和 8 英寸外延技术、Ga 元素和 Si 衬底反应、17%的晶格失配、热膨胀系数不同等。通过刻蚀栅极下面 Si 衬底，覆盖  $\text{SiO}_2$  层、填充 Cu 后的 RF 器件，相比于原来的 Si 衬底 RF 器件，各方面性能参数大大提高；通过通孔和背面散热层，SOI 衬底器件 500K 温度特性比较好；封装技

术将是下一步工作；但在低于 30V 偏压、100W 的功率放大器应用领域，GaN-on-Si 技术因为低成本仍然具有相当强的优势。



日本德岛大学教授、西安电子科技大学教授 敖金平



台湾长庚大学教授 邱显钦

河北半导体研究所高级工程师吕元杰分享了题为“凹栅工艺的按比例缩小 AlGaIn/GaN HFET 性能”的报告。采用再生长欧姆接触工艺，器件源漏间距 (Lsd) 缩小至 600 nm。器件开态电阻 (Ron) 为  $0.81 \Omega \cdot \text{mm}$ 。



在蒸发 60nm 栅金属之前采用低功率等离子体刻蚀工艺实现低损伤凹栅工艺。采用凹栅工艺后器件的短沟道效应被很好的抑制。峰值跨导(gm)从 607 mS/mm 提升至 764 mS/mm。采用射频小信号测试，凹栅工艺的器件fT 仍然保持 149 GHz, fmax 提升至 263GHz,同时展示出最高的 fT\*fmax 值。这表明通过进一步优化材料和器件工艺，AlGaN/GaN HFETs 器件有望实现在 D 波段(110-170GHz)的功放应用。

南京电子器件研究所副教授孔月婵分享了题为“超薄四元 InAlGa<sub>N</sub> 势垒层的高频 GaN HEMT”的报告。新型超薄势垒层 InAlGa<sub>N</sub>/GaN 异质结构在异质界面处显示出更强的极化作用,在降低接触电阻的同时可以极大的降低器件在高频条件下的短沟道效应（SCE）。7nm

In<sub>0.08</sub>Al<sub>0.74</sub>Ga<sub>0.18</sub>N、1nm AlN、GaN、SiC 衬底的外延结构，电子束光刻工艺制作 60 nm 矩形栅结构，接着 Ni/Au（20 nm/80 nm）金属蒸发层，制作的 HEMT 器件显示出优异的直流和微波性能，饱和电流密度达到 2.5 A/mm，线性区电阻 0.94 Ω/mm，峰值跨导达到 0.97 S/mm，电流增益截止频率达到 261 GHz，功率增益截止频率 74 GHz，有效载流子速度达到 0.98×10<sup>7</sup> cm/s。该成果是目前栅宽 60 nm GaN 基 HEMTs 器件领域的最佳性能。



S3 移动通讯分会场（现场交流）



S3 移动通讯分会场（现场交流）



## 分会四：第三代半导体与固态紫外器件技术

“第三代半导体与固态紫外器件技术”分会主席由美国佐治亚理工学院教授 Russell DUPUIS，中科院苏州纳米所研究员、博士生导师、纳米测试中心主任、苏州纳维科技有限公司董事长、中组部国家千人计划、国家杰出青年基金获得者徐科，中科院半导体研究所所长助理、研究员张韵共同担任。



美国佐治亚理工学院教授 Russell DUPUIS

美国佐治亚理工学院的 Russell DUPUIS 教授分享了“三族氮化物紫外光源和探测器”领域世界领先的工作进展。紫外半导体光源和光电探测器在单光子探测、原子钟等领域有重大应用价值。雪崩光电二极管（APD）与其他半导体光电二极管、光电倍增管相比，具有增益高、响应度高、损耗低、可进行单光子计数等优点，但工作与反向偏压下，对材料质量和工艺控制有加高要求。报告中采用 GaN 自支撑衬底外延得到缺陷密度低于  $5 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$  的 III 族氮化物 APD；优化等离子体刻蚀、钝化等制备工艺，并制备了  $4 \times 4$  阵列的 UV APD，48V 反向偏压下的漏

电流低至  $3.7\text{E}-11\text{ A}$ ，击穿电压高达 96V。在垂直微腔 LED 方面，在 n 侧采用 40 对 AlGaIn/GaN DBR，在 368nm 处的反射率达 91.6%；在 p 侧采用 8 对 HfO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> 介质层 DBR，在 370nm 处的反射率达 98.3%；实现了 370.4nm 的光辐射，开启电压 $\sim 4.5\text{V}$ ，Q 值 $\sim 65$ ，电流密度为  $2\text{KA}/\text{cm}^2$  时发光峰的半宽高仅 6.1nm。



中国科学院半导体照明研发中心副主任 王军喜

中国科学院半导体照明研发中心副主任王军喜研究员分享了“微纳技术制备高 Al 组分紫外发射器”的报告。紫外 LED 有非常广阔的用途，主要在净化、杀菌、光疗、短距离通信、探测、生物和农业等，具有无污染、高频调制、小巧便携的优势。目前的核心问题是材料质量，高的位错密度降低了发光效率。在深紫外波段，UV LED 的外量子效率基本在 10%以内、内量子效率（IQE）约 30%、光提取效率（LEE）10%、电流注入效率（CIE）70%。高 Al 组分的 AlGaIn 材料中，线性位错密度约  $10^9\text{cm}^{-2}$ ，沟道图形衬底的 AlN 层侧向外延生长（ELOG）是解决这一问题的可能方案；报告分享了三种结构的 UV LED 的研究，AlN 层沟道图形、AlN 层纳米图形、蓝宝石衬底纳米图形上 AlN 的外延。报告分享了

在 P 型材料上形成纳米柱（直径 400nm-600nm，高 600nm）结构，可大大提高光提取效率。

台湾交通大学特聘教授郭浩中在“使用超晶格 P-AlGa<sub>N</sub> 和反射器改进 UVC-LED 的光提取”学术报告中指出，近年来，Ga<sub>N</sub> 基深紫外（DUV）LED 呈现取代汞灯的新可能性，但在发射波长小于 380 nm 时，由于缓冲层和衬底的内量子效率低和发射光吸收强，发射效率明显降低。为了进一步提高光提取效率，提出了一种新的深紫外 LED 倒装芯片（280 nm and 310 nm），其高反射率镜（~89%）与介质分布 Bragg 反射相关。此外，DUV LED 生长在 AlN 模板以克服 AlGa<sub>N</sub> 中间层和蓝宝石之间较大的晶格失配，实现高质量材料和减少衬底的光吸收。实现 DUV LEDs 的 7% EQE@310 nm 和 5% EQE@280nm。主要的技术路线包括：蓝宝石衬底 AlN 层上 DUV LED 量子阱中类量子点（QD）结构外延；p-AlGa<sub>N</sub> 被 20 对 p 型 1nm Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N/1nm Al<sub>0.6</sub>Ga<sub>0.4</sub>N 超晶格替代；P 型接触层采用石墨烯加 Ag、电子枪淀积 DBR、NiAu 键合层倒装在支架上；封装中反射杯采用 Al 反射镜等。



台湾交通大学特聘教授 郭浩中

青岛杰生电气有限公司技术总监武帅介绍了“大功率长寿命深紫外LED 及其应用”报告。2014 年 4 月份中国成为全球第 30 个国家来批准对于水银的 Minamenta 公约，在 2020 年前禁止水银灯的生产。UVC 在水消毒、空调清洁、冰箱消毒方面有很大的应用市场前景。目前全球有 10 家深紫外 LED 的主要生产厂商，主要集中在美国、日本、韩国和中国。目前外量子效率能达到 10%以上。预计到 2017 年，UVC 价格达到 \$1/mW，UVA 达到 \$1/W。在深紫外 LED 技术方面，主要的挑战时候衬底材料（AlN 单晶或蓝宝石上侧向生长 AlN）、p-AlGaIn 材料、器件和封装。青岛杰生 10mw 深紫外 LED 寿命超过 1 万小时，大尺寸单芯片深紫外 LED 达到 170mW@1A。



南京大学教授 陆海

南京大学陆海教授分享了“基于宽禁带半导体材料的可见盲和日盲光电探测器的研究进展”报告。他表示，由于宽禁带半导体的带隙能量大，电子饱和速率高，耐辐射性和耐温性强，其在紫外探测器中的应用引起了广泛的关注。上述光电探测器具有许多应用潜质，包括火焰检测，环境监测，化学/生物药剂监测和太阳物理学等应用。基于 GaN 和 AlGaIn 的传统的光电探测器已经实现小规模应用。材料生长是改进器件性能的



关键，特别是对于氮化物的雪崩光电二极管（APD）。目前 SiC 材料质量相对更好，SiC 单光子计数深紫外 APD 表现出更好的性能。

北京大学的荣新代表王新强教授在“基于亚单原子层厚 GaN 量子阱的电泵浦深紫外光源”报告中指出，基于 AlGaIn 的紫外（UV）光源以其高效率和环境可持续性的特点，目前被认为是取代准分子和汞灯的优秀候选对象。至今，通过调整 Al 的组分使得发射源工作在 210-355nm 的紫外光谱范围内的工作已经取得了重大进步。然而，它们的输出功率和发射效率仍然远低于蓝光 LED。有限的效率与低电荷载流子注入效率（IE）有关，是由于在高 Al 含量 AlGaIn 层中难以实现 p 型导电性，较低的光提取率是由于在使用 p-GaN 注入层时 TM 偏振发射或紫外光吸收。

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所博士后苏旭军分享了 HVPE 法在蓝宝石衬底上生长的 AlN 材料的研究进展。低位错密度的 AlN 材料可以作为多波长器件的衬底。AlN 单晶的生长难度有两点，一是生长温度高（1300 度以上），二是 Al 很容易吸附 O 而氧化（透光性不好，影响器件性能）。AlN 单晶生长主要有两个方法，一是 HVPE 法，生长速率快，但缺陷多；二是 PVT 法，生长速率慢，晶体缺陷少，但透光性不好。日本科学家通过 PVT 的方法生长低位错密度的晶体，在上面再进行 HVPE 生长。目前 HVPE 法的 AlN 位错密度能达到  $10^6$ 。



S4 固态紫外分会场



S4 固态紫外分会场（会场交流）

## 附件二：会议赞助鸣谢



组委会感谢中国电子科技集团第十三研究所、苏州能讯半导体科技有限公司、维易科精密仪器国际贸易(上海)有限公司、青岛杰生电气有限公司、苏州纳维科技有限公司、北京华商三优新能源科技有限公司、泰科天润半导体科技(北京)有限公司、苏州晶湛半导体有限公司、华夏幸福基业股份有限公司等企业为会议的大力支持!

## 附件三：媒体支持鸣谢

本届活动组委会共获得了 120 多家媒体的支持与报道。其中签约合作媒体 36 家，并于会前、会中及会后进行软文、图片等宣传报道。本届活动举办现场，有来自 12 家大众媒体（人民网、央视网、新华网、环球网、光明网、中国经济时报、科技日报、北京日报、中国企业报、中华网、搜狐网、腾讯网）、11 家行业媒体、1 家视频直播的 37 名媒体工作者莅临，对活动传播、信息交流及产业发展起到至关重要的推动作用。

对本届活动给予支持传播与推广的以下媒体机构，大会组委会在此致谢！

主流媒体：人民网、央视网、新华网、环球网、光明网、中国经济时报、科技日报、北京日报、中国企业报、搜狐网、腾讯网、中华网、北京晚报、江苏商报、江苏网、齐鲁晚报、南方都市报、南方网、中国网、凤凰网、网易、中国经济网、京华网、浙江热线、深圳热线、扬子晚报、杭州日报、消费日报、中国经济网、互联网周刊、经济观察网、中国日报、四川热线、中国经济导报、中国财经时报、中国金融网、南海新闻网、今日头条、天天快报、大河网、东方财富网、华商网、东方网、大众网、中关村在线、赛迪网、科技资讯、家电资讯网、cnet 科技资讯网、citnews、兰州信息港、商道、软媒堂、聚行业、北方网、财经网、通信世界、新快网、金融界财富、泉州网、华龙网、中国品牌网、每日科技网、太平洋电脑网、酷熊直播。

行业媒体：中国半导体照明网、中国电子报、半导体学报、LEDinside、新材料在线、慧聪电子网、SEMI 台湾、SEMI 大半导体产业网、中国科技传媒网、华强电子网、大比特半导体器件应用网、中研网、中国新材

料网、电子变压器网、中国节能灯具网、中国电子元器件网、中国电子网、电子技术应用网、半导体器件应用网、星光电子网、北极星电力会展网、赛尔传媒、广东 LED、大照明、古镇灯饰报、行家说、中国照明网、阿拉丁网、第一 LED 网、照明中国网、OFweek 半导体照明网、华强 LED 网、慧聪 LED 网、国际照明、中国 LED 网、中国建筑电气网、一灯网、每日 LED 全媒体、深圳 LED 公共信息网、海峡光电网、东方 LED 网、云知光、中国灯饰照明网、中国 LED 行业网、工控网、易展电子网、中国国防电子网等。

其中中国半导体照明网（[www.china-led.net](http://www.china-led.net)）对本届活动提供全程媒体支持，大会组委会在此特别鸣谢！



创新之角一隅



参会单位展位一角



分会场(席地而坐)



分会场



## **第三代半导体产业技术创新战略联盟**

地址：北京市海淀区清华东路甲 35 号中科院半导体所院内 5 号楼 5 层（100083）

电话：010-82388680

传真：010-82388580

邮箱：[lijuan@china-led.net](mailto:lijuan@china-led.net)

[www.casa-china.cn](http://www.casa-china.cn)

