

广州出差报告

—2020 年全国导热粉体材料创新发展论坛

此次论坛共计 16 个报告，集中在一天进行汇报，参会人员有两百多近百家单位，包括中科院几家单位、高校以及导热行业相关企业，现场参展单位有十多家，其中美国迈图、汉高集团、法国圣戈班、美国肯纳金属、回天新材、德邦界面新材料、金戈新材、联瑞新材、厦门钨瓷、上海百图、壹石通等产业链上下游企业都有在现场。报告主要是集中在导热粉体材料的制备和应用，主要是氮化物粉体居多，目前的状况就是国内相关导热填料的质量比日本、台湾的要差一些，但价格方面还是很高的，受制于研发生产的设备和工艺。通过此次论坛可以了解目前导热填料以及应用的行业水平，每种材料的优缺点以及相关表征等内容，同时认识了一些供应商和行业研究人员，为后续索样和交流打下了良好的基础。报告的内容比较具体并具有一定的实用性，可以为后续研发提供参考。热管理的短板在于基材的导热率很低、界面热阻大，可以在这方面的研究上下功夫。



2020 INNOVATION AND DEVELOPMENT FORUM
全国导热粉体材料创新发展论坛

会议时间 11月23-24日 会议地点 广州奥园高尔夫酒店

主办单位 粉体圈 360powder.com

赞助单位 丹东百特 仪器有限公司 琅菱机械 LONGLY 金星飞华 威海 DCEI 丹东市化工研究所 质士德仪器

合作了粉体圈，您就合作了整个粉体行业！

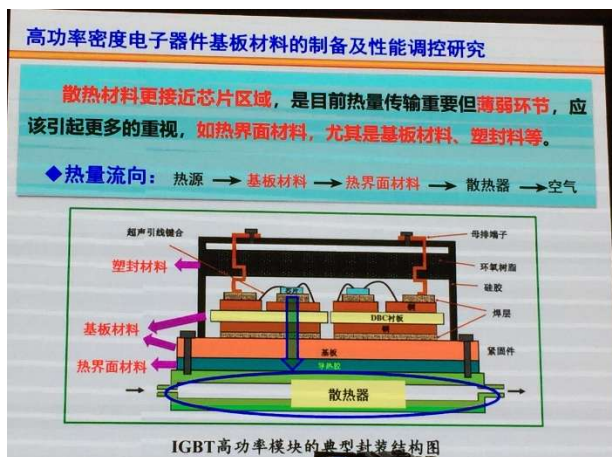
扫码了解更多！

2016 年《自然》指出，由于散热问题无法解决，电子产品的发展将无法遵循“摩尔定律”。电子产品失效案例中 55%的是由于温度原因造成的，所以如何实现电子器件的有效散热已经成为热点科学问题。先进芯片工艺带来热点密度急剧升高，同时高度集成造成热量大量集中，温度对产品性能和寿命的影响非常明显，以无线充电为例，30℃时两个多小时就能充满，35℃就需要三个多小时，40℃就要四五个小时，已经完全没有市场竞争优势。解决导热材料的难题，一方面可从导热材料自身出发，探讨不同导热材料的性能差异与先进制备工艺；另一个方面可从下游产业应用出发，总结各领域对导热材料的不同需求及其使用效果。

一、氮化物相关报告

导热界面材料制备是一门有机材料和无机材料的综合工艺，其中氮化铝和氮化硼的应用最为广泛，氮化硅也慢慢发展成导热行业的新秀。本次论坛的报告主要集中在氮化物填料方面，相关报告有中科院物化所的赵宏伟研究员的《燃烧合成氮化硅》、中科院合肥物质科学研究院田兴友研究员《氮化硼掺杂石墨烯导热材料在电子封装中的应用》、北京化工大学母伟教授的《六方氮化硼纳米片的宏观制备及在导热填料中的应用》、厦门钨瓷科技的鲁慧峰博士的《氮化铝粉体的改性及其作为导热填料的应用》、青岛瓷兴新材料崔巍博士的《氮化硅粉体在导热填料中的应用前景》。

田兴友老师在报告中简明扼要地从宏观战略及实际技术问题出发，阐述了高导热的基板材料已成为高功率密度电子器件领域的重要发展方向，尤其高端散热材料急需研究开发和实现国产化。并指出基体与高导热组分的复合是实现高导热性能的重要途径，报告中分别介绍了h-BN/聚合物基导热复合材料在界面处理方面的几种结构设计研究思路，包括各向同性（6种制备方法）、水平取向（8种制备方法）、垂直取向（2种制备方法），氮化硼和石墨烯复合的微纳复合结构主要还是倾向于做绝缘处理。



高功率密度电子器件基板材料的制备及性能调控研究

高端集成电路散热材料主要依赖于国外进口 (~95%)

散热材料类型	日本公司产品		国内公司产品	
	性能指标 (W/m·K)	价格	性能指标 (W/m·K)	价格
热界面材料	5.0-8.0	700-1000元/m ²	2.1-3.0	100-300元/m ²
环氧树脂基板材料	1.5-3.0	100-300元/m ²	0.5-1.0	40-60元/m ²
陶瓷基板材料	100-120	~12万元/m ²	70	2-4万元/m ²

高端散热材料逐渐成为集成电路封测领域器件制造的重要战略物资，急需研究开发和实现国产化！

吴赞副教授（原名为淄博新阜康的青州方舟材料）分享了氮化硼粉体的几种制备工艺及成熟化产品，其中硅硼氧氮新型陶瓷粉体各项理化指标处于行业领先，报告中以实例展示了不同指标的氮化硼粉体在各场景的实际应用。

鲁慧峰博士（厦门钨瓷）的报告中介绍了氮化铝粉体的几种较大潜力的应用场景，并分享了实际生产的小颗粒单晶及大颗粒多晶氮化铝填料粉末的制备技术和改性技术。主要是通过表面处理解决氮化铝易水解的问题。

氮化铝填料与高分子材料相容性

氮化铝粉体与高分子材料由于表面极性的不同，二者通常不润湿，需要对无机粉体进行表面处理或者在混合过程中加入表面改性剂。

在与热塑性树脂混合过程中，通常加入硬脂酸、油酸、磷酸钠等作为粉体表面改性剂，实现填料与热塑性树脂的混合。例如氮化铝与高密度聚乙烯的混合。

而在环氧基、硅基树脂中，通常采用硅烷偶联剂对粉末进行表面改性。如灌封胶、导热垫片、导热凝胶等。

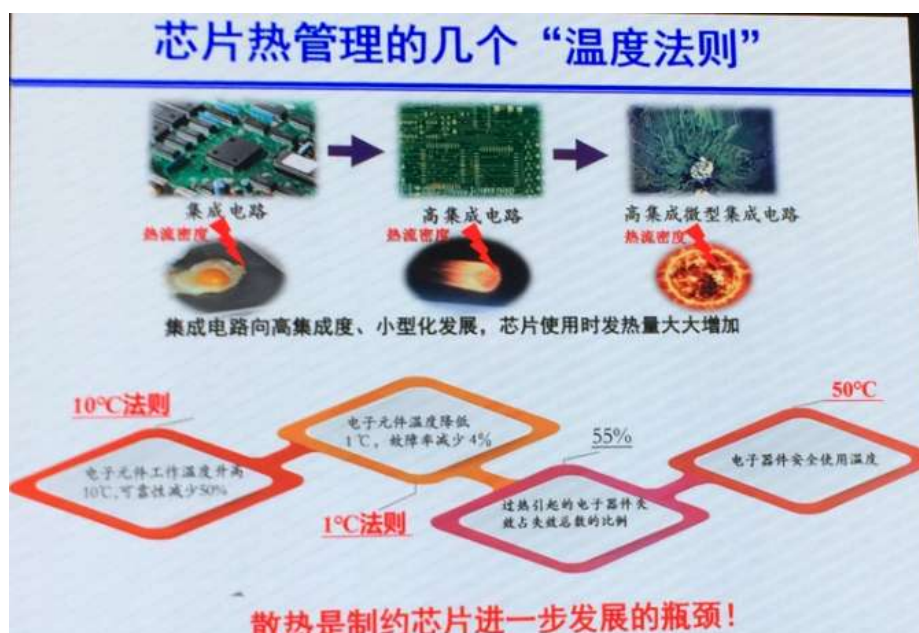
JC
JING TECHNOLOGY

立方碳化硅与金刚石和立方氮化硼结构相似，在导热填料中有良好的应用前景，但目前在高纯度碳化硅粉体的制备上仍存在较大的技术难度，王晓刚教授在报告中详细讲述了碳化硅的材料特性及国内外合成技术研究现状，并分享了其自主发明的基于固相法的多芯炉法制备工艺。

崔巍博士（青岛瓷兴）在报告中提到氮化硅基板已逐渐成为新一代电动车的标配，氮化硅各方面较平衡的优异性能有着竞争力较强的细分市场，报告中罗列了制约氮化硅粉体品质提升的几项“卡脖子”关键问题，并详细讲解针对问题解决的核心技术。目前氮化硅的主要制备方法是燃烧合成，用镁作为熔化的催化剂。



赵宏伟博士的报告基于应用需求及粉体散热机理两大方向总结了导热填料的选取原则，并提出理想的材料选择，对比传统的高温法制备工艺，介绍了燃烧合成工艺的制备优势和关键调控，使用此法制出的复配型复合材料易形成搭桥的导热通道，导热效果更好。



迈图高新材料的王存国经理在报告中指出，与常见的单晶片状形态氮化硼相比，小颗粒片状氮化硼随机方向聚集的团聚态粉体材料在热导性能上具有更好的各向同性，报告中展现了不同加工条件对团聚体氮化硼热性能的影响，基于这方面的研究总结出提升性能的加工工艺，在不同要求的热管理领域均有良好的性能表现。

毋伟教授分享了一种低成本化的可规模制备六方氮化硼纳米片的优化方法，且此法制备的六方氮化硼纳米片的表面极性可得到改善，也拓展了应用领域。常用的液相剥离技术限制较大，无法支撑宏量的制备，宁波材料所用超声法制备也受制于设备的问题无法普及，浓缩效率在40%。将二维材料加工成纳米片可大大提升其性能，所以其制备方法还是值得研究的。

结论

1. 以h-BN粉末为原料，通过高速液相剪切法和超重力法在添加剂水溶液中剥离制备出高质量的羟基功能化二维氮化硼纳米片。
2. 以高速液相剪切法得到的OH-BNNSs为导热填料与PVA复合制备成导热薄膜。当添加量为50 wt%时，面内热扩散率达到9.031 mm²/s，是纯PVA薄膜的40倍，同时可以提高复合材料的热稳定性。
3. 通过预处理然后剥离，还得到了羟基和氨基同时功能化的二维氮化硼纳米片，产率可高达10%，拓展了其应用领域。
4. 我们实验室现在正在研究的电化学法，剥离效率和产率可望得到进一步较大提升。

二、粉体级配和改性

曾小亮研究员在《导热聚合物复合材料的制备及其界面热阻研究》报告中分享了几种气凝胶球新型导热填料的制备方式，包括石墨烯，碳化硅纳米线气凝胶，并讲解了基于不同原理的界面热阻测量技术。他认为一维和二维材料成为制备聚合物导热复合材料最有前景的填料，尤其涉及到界面问题，二维比一维要好。复合材料的界面热阻是制约聚合物导热系数瓶颈，如何通过材料改性等手段有效降低界面热阻一直是行业内迫切解决的难题，而准确测量界面热阻是研究的基础。



总结

- ❖ 1. 局部冰模板法自组装和液氮驱动旋转技术制备了一维、二维气凝胶球。制备得到的气凝胶球具有类似海胆的放射状互通结构，球表面布满直通孔。
- ❖ 2. 碳化硅线和石墨烯气凝胶球为例展示了这种气凝胶球作为填料的优势，复合材料的面外导热系数达到0.91 W/mK (4.6 vol% 碳化硅纳米线)、0.96 W/mK (1.0 wt% 石墨烯)。
- ❖ 3. 采用数值模拟的方法，证实了填料表面改性或填料表面修饰，降低了填料-聚合物和填料-填料之间的界面热阻。
- ❖ 4. 采用Photothermal技术测量了聚合物-填料之间的界面热阻，量化的确定了填料-聚合物界面热阻值的影响。

单一的导热粉体材料一般在实际应用中效果不理想，工业中更倾向于不同粉体材料的复配使用，这就带来了不同粉体间的分散工艺及与高分子材料的相容性问题，佛山金戈的田丽权总经理着重讲解了针对此问题的复合改性技术，并介绍了几种新型导热粉体材料在

胶黏剂中的应用优势。

现场参会的佛山金戈、东莞东超、东莞乐图等几家公司都是只做粉体改性复配，不做原材料制备的；中铝旗下河南长兴和百图股份主要是做原材料是做原材料生产的，基本不做改性。

佛山金戈改性用常规的就是硅烷偶联剂 KH-550 或者 KH-550，使其尽可能进行细化，加大与填料的接触面积，同时尽量不能有残余，以防止在制备硅胶产品时有小分子挥发分产生。物料改性所使用的设备是反应釜，不过要求转速非常高，偶联剂是采用气化的方式，以前大多是雾化。

东超新材料的魏东总经理以严谨的行业数据整体介绍了现今 5G 技术的特点及发展现状，并基于此提出 5G 对材料设计的要求，以及热管理材料的设计原则，报告中提到的几种新型导热粉体材料也令人印象十分深刻。

5G对材料设计的要求	热管理材料设计原则	导热粉体行业痛点总结
<ul style="list-style-type: none">● 5G传输速度更快，但信号强度较差，要求传播介质材料的介电常数和介电损耗要小● 5G电磁波覆盖能力较差，要求材料电磁屏蔽能力要强● 5G元器件厚度薄、密封性好，要求及时散热，材料导热性能要好	<ul style="list-style-type: none">● 材料耐热等级要高（150℃以上）● 器件热量热能传递速度快（6.0w/m.k以上）● 器件热量储能能力大(相变储热)	<ul style="list-style-type: none">◆ 高导热粉体国产化问题（技术沉淀、质量稳定性、成本）◆ 改性粉体耐老化（高温、低温、热震）、界面热阻大问题。◆ 高端需求不清晰（性能指标、应用场景）◆ 多种性能协同要求难以满足（热学、力学、电学等）。

袁方利老师在报告中介绍了氧化铝粉体作为填料的几种应用，包括氧化铝与石墨烯进行各种复合，并基于材料的热传输机理研究了不同形貌的氧化铝在导热性能方面的表现，其中用等离子体方法制备出的特殊球型结构氧化铝能提供连续、高效的热导通路，大幅改善了复合材料的热传输性能。



- ◆ 热等离子体制备的 Al_2O_3 粉体具有球形度高、粒径分布窄、表面光滑、内部致密、分散性好、结晶度高等特点。 Al_2O_3 浆料具有好的分散稳定性，固含量增加，浆料流动指数下降，表现剪切稀化特性。
- ◆ 利用超细球形 Al_2O_3 粉体良好的分散性和颗粒各向同性的烧结传质行为制备了**b- Al_2O_3** ，**b- Al_2O_3** 颗粒在PR基体中相互搭接形成了连续结构，降低了热量传输时的界面热阻，有效提高了PR材料热导率。
- ◆ 采用喷雾干燥和高温烧结工艺制备了**N- Al_2O_3** 球，**N- Al_2O_3** 球与PR形成了无机-有机两相贯穿结构。**N- Al_2O_3** 球三维连续的网络结构提供了连续、高效的热导通路，大幅改善了PR材料热传输性能。

解决的方法就是通过设计不同的结构进行复合，制备出高热导率的复合材料，下面给出了不同复合材料的热性能对比，为我们的后续研究提供了很好的思路。

导热填料的选取原则-1：一高三低

5G封装导热填料的陶瓷粉体的要求：

- 有利于5G高频芯片的散热
- 提高5G高频信号穿过封装时的传输效率
- 降低5G高频信号穿过封装时的热量损失
- 有利于减小复合材料与芯片热应力作用

导热填料的选取原则-2：粉体形貌

粉体颗粒球形度与堆积密度的关系

★球形态的粉体可以在**极限加工粘度**下获得更大的**填充率**。

导热填料的选取原则-3：粉末粒度

粉体级配-紧密堆积原理决定

粉体级配理想堆积体积分数的影响

- 拓朴学：颗粒级配有利于获得更高的填充率。
- 微观力学：利用级配粉体中微粉的微纳轴承效应，进一步降低粘度。

导热填料的选取原则-4：材料种类

常见无机导热填料物性数据表

材料	热导率 (W/mK)	介电常数	介电损耗	热膨胀 (10 ⁻⁶ /K)	莫氏硬度
SiO ₂	1.5 (熔融), 3.0 (结晶)	2.38-4.66	0.0001	6.3-1.4	4.5-7.0
Al ₂ O ₃	28-42	9.72	0.0004	7-10	9.0-9.4
SiC	63-155	40	0.7	4.3-5.7	9.0-9.6
AlN	170-260	4.54-4.93	0.002	4.2-5.56	5.0-5.5
BN	130-260	4.16-4.50	(2-8) × 10 ⁻⁴	2.83-13.3	2.0
Si ₃ N ₄	142-177	3.67-5.39	0.001	1.8-3.2	9.0

氧化物热导率太低，SiC介电性能不好，均不满足5G应用要求。
氮化物热导率高、介电性能好，最适合作高性能导热填料。

站在使用方的角度，超薄的热界面材料肯定是倾向于**一维材料**，解决材料的缺陷问题是关键；大家也对改性后产品应如何存放和包装都提出了问题，对水分要求不高的聚合物基体，包装拆封后半年到一年的时间基本还是可以使用的，有水分要求的保质期内必须要严格控制。

三、下游应用客户需求

1、广州回天新材料有限公司的卢雄威《一种动力电池用导热凝胶的制备及对导热填料的要求》，对于相关问题进行了解答。动力电池的散热问题已成为新能源汽车热管理领域最受关注的行业痛点，卢雄威专家分享的报告立足于对接下游应用的实际需求，主要介绍了导热凝胶及垫片等导热材料在动力电池的需求发展趋势，并以下游企业的角度同样总结了对导热粉体的需求。

介绍了工作中涉及到的所有填料应用优缺点，价格方面是痛点，其中铝粉欧美是从中国进口后做了绝缘处理，再卖给中国，相关技术还对中国保密。

对于导热粉体需求

- 氮化铝**：需要增加导热率和降低吸油率、价格过于向国外看齐，价格过高
- 氮化硼**：需要增加形态和降低吸油率，氮化硼本身非常优异，填充量低一直是挥之不去的顽疾
- 金刚石**：价格过高，填充导热效果不如期望高
- 碳纤维**：填充效果好，可以做成各向导热同性20W/m.k垫片，未来需要丰富产品种类，进一步增加填充量
- 碳纳米管**：吸油高，价格高，导热效果与碳纤维差不多
- 石墨烯**：价格高，吸油高，导热填充效果一般，不适合填充使用
- 碳化硅**、**氮化硅**：填充率不错，价格高，导热领域推广应用不够
- 铝粉**：目前使用较多，但是不能电绝缘，使用场合受限，并且铝粉本身受安全监管，未来更需要包覆铝粉，包含绝缘包覆、偶联剂包覆等
- 铜粉**：易氧化，价格高，主要用在导电胶领域
- 银粉**：价格高，主要用在导电胶领域

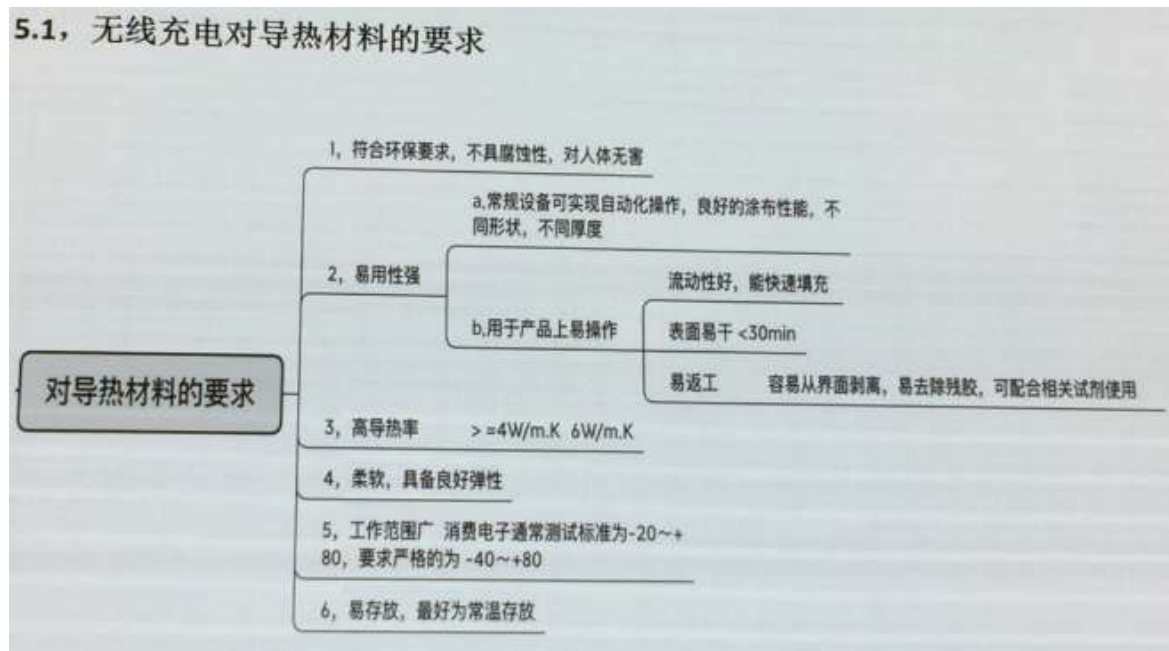
对于导热粉体需求

- 硅微粉**：用于低导热灌封胶等市场，上下游竞争激烈，价格白热化，迫切需要更低成本产品，价格最好1元以内。
- 氢氧化铝**：市场价格一般可以接受，未来需要产品低密度、低含水率、低比表面积低、高纯度、球形度
- 氢氧化镁**：目前基本是角形，比表面积大、增稠严重、使用范围小，需要降低吸油率增加填充量
- 氧化铝**：市场品种多形态丰富，有角形、多边形、球形等，未来需求高 α 相，球形度好，表面缺陷少，离子含量低，粒度分布窄，需要采用优质矿源，进一步优化设备和生产工艺
- 氧化镁**：价格高，球形度有待进一步提升，表面凹形缺陷比较多
- 氧化锌**：价格可以接受，添加量有待提高，如日本某产品添加量大，导热效果良好

提出工作中针对客户要求的设计方案：1) 导热粉体表面必须进行改性，可以降低混合物黏度、提高导热粉体的填充量、提高产品导热系数；2) 导热粉体种类、粉体粒度分布及搭配合理；3) 基体聚合物要进行蒸馏降低硅氧烷含量，减少硅油渗出，防止污染器件；

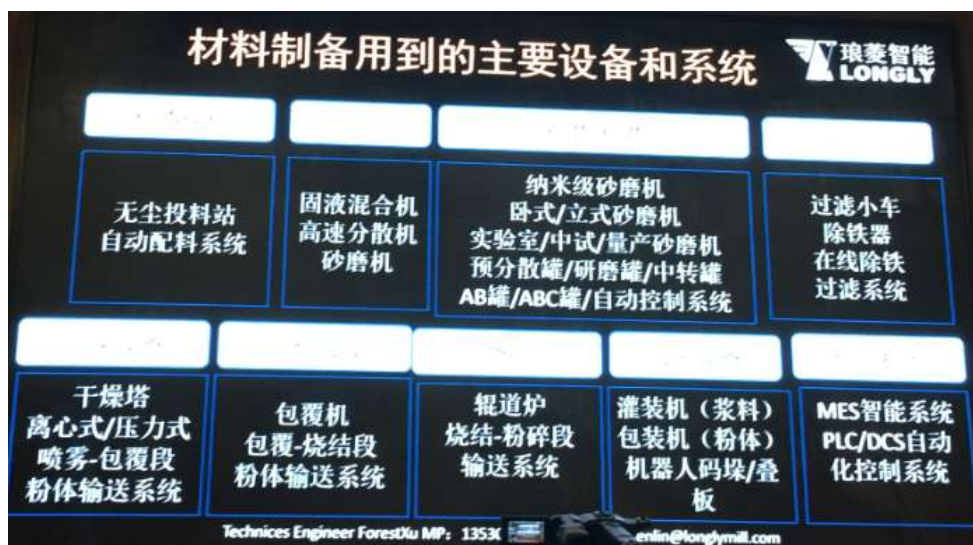
导热凝胶客户技术要求	设计方案
<ul style="list-style-type: none">轻量化低密度低渗油断裂伸长率有一定强度满足导热需求低挥发，低小分子含量低粘度高流速良好的力学、电学、热学性能	<ul style="list-style-type: none">轻量化低密度-采用微细氢氧化铝为主体，外加少部分氮化硼与氧化锌低渗油-硅油充分交联，减少自由硅油链高强度-采用多种类型含氢硅油与多种粘度乙烯基硅油搭配高断裂伸长率-采用高低粘度硅油搭配满足导热需求-采用不同尺寸粉体复配低挥发，低小分子含量-采用D3-D10低含量硅油其它良好的力学、电学、热学性能-根据客户具体需求设计调整

2、刘伟生针对《5G 无线充电智能设备对导热材料的需求》进行了讲解，从无线充电的构造及关键影响因素方面整体介绍了无线充电技术的发展现状和趋势，并基于性能需求对导热材料提出了在不同应用端的要求。无线充电的原理是磁感应，以前的产品会有充电对不准的情况存在，改进后有磁吸一方面是对厚度、硬度有要求，一般是在 0.5mm 以下（充电盘厚度 9mm），使用凝胶效果会好一些，但考虑价格成本还是会用垫片，不能整体使用，要切成小块进行黏贴。另一方面出口的产品对填料也是有要求的，含镍的产品不能使用，流动性要好，凝固时间短。并且必须是绝缘的。无线充电技术在近几年蓬勃发展，已逐渐成为热门新兴产业，可以作为一个研究方向。



四、制备设备和检测

琅菱机械对他们家的砂磨机在混合工艺中的使用做了讲解，“让客户少走弯路就是创造价值”这句话作为本次会议宣讲的唯一一家装备制造公司的理念切合粉体制造商的需求，许森林在报告中分别介绍了按粒径大小细化分类的粉体加工适合的分散方式，从机理出发提出提升分散效果的共混工艺和设备选型。





通过此次的论坛，认识了到科研院所和高校的工作目标基本都是追求热导率，忽视了在实际应用中力学性能的要求，目前的样件离商业应用还比较远。企业的实际需求讲解也解开了我在工作中遇到一些问题的疑惑，也明白了一些在后续的研发中应该注意的问题和研发方向。很多在热管理方面权威的老师、专家，对于我以前一些热管理方面疑惑的问题得到了部分解答，学习到了热管理相关方面的很多知识，尤其在测试表征、产品设计、结构构筑、应用领域等方面都有涉及，使我们的研发方向更加明确，对热管理的内容有了更深刻的认识，为后续的研发工作提供了思路和解决方案。而且主办方中装国科(北京)新材料研究院和北京新材料技术协会的秘书长说他们是有资质对于好的项目进行投资推荐的，为后续产品应用和转化多提供了一种可能。