

有色金属行业

金属新材料系列之七：5G时代的InP衬底机会

分析师： 巨国贤

分析师： 黄礼恒



SAC 执证号: S0260512050006



SAC 执证号: S0260519080005



0755-82535901



0755-88286912



juguoxian@gf.com.cn



huangliheng@gf.com.cn

请注意，黄礼恒并非香港证券及期货事务监察委员会的注册持牌人，不可在香港从事受监管活动。

核心观点：

- **5G时代的InP衬底机会。**5G时代将带来以InP（磷化铟）、GaAs（砷化镓）为代表的第二、第三代半导体材料的需求倍增，但目前大规格、高品质InP、GaAs单晶衬底基本为海外厂商垄断，国产化替代空间广阔。关注前端射频器件和芯片国产化替代背景下，国内具备InP、GaAs单晶衬底生产技术相关上市公司的投资机会，以及相关上市公司云南锗业、有研新材等。
- **5G快速发展扩大InP市场空间。**5G网络高频、高速的特性要求前端射频组件具备在高频、高功率下更好的性能表现，从而对其半导体材料电子迁移率和禁带宽度等物理性能提出了更高的要求；同时，5G宏基站大规模MIMO技术的普及、以及5G终端支持频段的增加，都将使前端射频组件以及半导体材料需求提升。基于上述两个方面，InP、GaAs以及GaN在5G时代或将逐步取代Si-LDMOS，成为终端设备以及基站设备前端射频器件的核心半导体材料，迎来更大市场空间。而InP是一种比GaAs更先进的半导体材料，其与GaAs材料相比具有高的电光转换效率、高的电子迁移率、高的工作温度、以及强抗辐射能力的特点，在光纤通信、毫米波和无线应用等方面具有明显的优势。根据Yole测算，到2024年，InP市场规模将达到1.72亿美元，2018年至2024年的复合年增长率为14%。
- **自主安全可控推进InP国产化进程。**半导体高纯单晶生长是制备各类半导体器件的核心技术，InP制备与GaAs基础方法类似，但制备InP不能像制备GaAs一样在高压釜内直接混合合成，通常需要溶质缓慢的扩散技术或者注入合成技术合成InP。目前InP市场中以2、3英寸衬底为主，4、6英寸衬底则是未来竞争的焦点，目前全球只有美国的AXT，日本的SUMITOMO等少数几家公司能够满足未来对大尺寸衬底的要求，中国的InP晶体行业发展起步较晚，一直没有形成被市场广泛接受的自主品牌，随着5G发展及贸易保护主义抬头，中国芯片产业自主安全可控迫在眉睫，有望快速推进InP等芯片材料国产替代进程。另外根据Wafer World网站的InP报价AXT产品毛利率推测则，单片InP衬底毛利至少在120-160美元。
- **投资建议：关注云南锗业、有研新材等。**关注云南锗业（2019年12月27日公告，控股子公司云南鑫耀拟建一条年产15万片4英寸InP单晶片的生产线，此前公司已完成5万片/年2英寸InP单晶及晶片产业化建设项目；另外公司还具备4英寸GaAs单晶片产能80万片/年）、有研新材（具备第二代半导体材料生产技术）。
- **风险提示。**国内及海外5G推广进程不及预期；InP主流生产工艺发生重大变化；半导体材料技术进步，InP被其他材料快速替代。

相关研究：

有色金属行业:金属新材料系列之六：钇钡铜氧高温超导的应用

2019-11-03

有色金属行业:金属新材料系列之五：5G时代的GaAs衬底机会

2019-09-05

识别风险，发现价值

请务必阅读末页的免责声明

重点公司估值和财务分析表

股票简称	股票代码	货币	最新 收盘价	最近 报告日期	评级	合理价值 (元/股)	EPS(元)		PE(x)		EV/EBITDA(x)		ROE(%)	
							2019E	2020E	2019E	2020E	2019E	2020E	2019E	2020E
洛阳钼业	603993.SH	CNY	4.46	2019/10/30	买入	5.45	0.08	0.10	55.75	44.60	17.95	15.84	4.40	5.10
洛阳钼业	03993.HK	HKD	3.44	2019/10/30	买入	4.04	0.08	0.10	38.50	30.80	17.95	15.84	4.40	5.10
紫金矿业	601899.SH	CNY	4.70	2019/12/3	买入	4.40	0.18	0.22	26.11	21.36	11.52	10.67	9.60	10.80
紫金矿业	02899.HK	HKD	4.05	2019/12/3	买入	3.64	0.18	0.22	20.14	16.48	11.52	10.67	9.60	10.80
山东黄金	600547.SH	CNY	38.49	2019/10/30	增持	33.50	0.47	0.67	81.89	57.45	21.47	17.69	6.40	8.60
山东黄金	01787.HK	HKD	19.10	2019/10/30	增持	19.52	0.47	0.67	36.38	25.52	21.47	17.69	6.40	8.60
西部矿业	601168.SH	CNY	6.76	2020/1/3	买入	10.53	0.40	0.42	16.90	16.10	13.30	13.17	9.80	9.40
铜陵有色	000630.SZ	CNY	2.32	2019/4/14	买入	3.19	0.08	0.10	29.00	23.20	9.02	8.02	4.80	5.20
驰宏锌锗	600497.SH	CNY	4.36	2019/3/24	买入	7.50	0.25	0.28	17.44	15.57	14.14	14.00	8.20	8.30
中金岭南	000060.SZ	CNY	4.31	2019/10/28	买入	6.50	0.25	0.26	17.24	16.58	11.30	11.08	7.80	7.50
宝钛股份	600456.SH	CNY	25.50	2019/10/17	买入	31.00	0.65	0.85	39.23	30.00	19.26	16.59	7.30	8.70
天齐锂业	002466.SZ	CNY	31.94	2019/10/25	买入	27.70	0.10	0.53	319.40	60.26	29.44	28.85	1.00	5.20
赣锋锂业	002460.SZ	CNY	40.66	2019/12/12	买入	31.85	0.37	0.62	109.89	65.58	45.74	46.93	5.70	8.80
赣锋锂业	01772.HK	HKD	19.60	2019/12/12	买入	23.00	0.37	0.62	47.43	28.30	45.74	46.93	5.70	8.80
东阳光	600673.SH	CNY	9.09	2019/11/23	买入	12.00	0.37	0.55	24.57	16.53	11.13	8.29	14.10	17.50
银泰黄金	000975.SZ	CNY	15.36	2019/10/29	买入	17.70	0.49	0.59	31.35	26.03	15.67	13.71	10.50	11.20
威华股份	002240.SZ	CNY	9.28	2019/7/25	买入	8.44	0.34	0.45	27.29	20.62	21.07	16.97	7.70	9.40
金钼股份	601958.SH	CNY	7.91	2019/10/25	买入	8.80	0.22	0.43	35.95	18.40	16.81	10.14	5.10	9.10
华钰矿业	601020.SH	CNY	9.61	2019/11/27	买入	11.97	0.23	0.64	41.78	15.02	36.83	10.90	5.80	13.80
锡业股份	000960.SZ	CNY	10.45	2019/4/17	增持	14.76	0.60	0.69	17.42	15.14	12.20	10.53	7.70	8.10
盛和资源	600392.SH	CNY	9.13	2019/10/28	增持	12.00	0.20	0.24	45.65	38.04	28.51	24.40	6.30	7.00
厦门钨业	600549.SH	CNY	13.02	2019/8/22	增持	16.80	0.30	0.42	43.40	31.00	14.07	12.49	5.60	7.30
西部超导	688122.SH	CNY	36.77	2019/7/7	-	-	0.37	0.46	99.38	79.93	57.00	43.65	5.60	6.60

数据来源: Wind、广发证券发展研究中心

备注: 表中估值指标按照最新收盘价计算; A+H 股上市公司的业绩预测一致, 且货币单位均为人民币元; 对应的 H 股 PE 和 PB 估值, 为最新 H 股股价按即期汇率折合为人民币计算所得。

目录索引

一、5G 快速发展拓宽 INP 市场空间	5
(一) PA 器件: 17-23 年 5G 基站、终端 PA 需求 CAGR 或达 7%，性能要求提升 5	5
(二) PA 衬底: INP、GAAs 等或挤占 Si 基衬底市场份额	7
二、自主安全可控推进 INP 国产化进程	10
(一) INP 技术: 制备高纯半导体单晶为组件制造的首要环节	10
(二) INP 格局: 5G 带动下, INP 国产化进程有望加速	12
(三) INP 利润: INP 晶片毛利至少在 120-160 美元/片	13
三、投资建议: 关注云南锗业、有研新材等	14
(一) 云南锗业: 加快布局 INP 产能	14
(二) 有研新材: 具备第二代半导体材料生产技术	15
四、风险提示	15

图表索引

图 1: 5G 高频、高速特质驱动 PA 等射频组件性能提升、数量倍增.....	6
图 2: 全球射频前端市场规模预计.....	7
图 3: 全球射频前端 PA 市场容量.....	7
图 4: Si-LDMOS 制程的功率器件无法满足超过 3.5GHz 以上高频段的工作要求 .	8
图 5: 面向 5G 应用, GaAs、GaN 基器件未来将逐步挤占 Si 基器件的市场份额 .	8
图 6: InP 主要应用领域.....	9
图 7: GaAs 主要应用领域.....	9
图 8: InP 应用市场规模预测.....	10
图 9: 制备高纯半导体单晶为组件制造的首要环节.....	11
图 10: InP 单晶衬底.....	12
图 11: AXT 主要产品情况.....	13
图 12: InP 晶片市场销售价格 (美元/片).....	14
表 1: 第一代、第二代、第三代半导体物理性能参数对比.....	7
表 2: 中国 InP 单晶生长设备和生长单晶衬底主要企业.....	13

一、5G 快速发展扩大 InP 市场空间

（一）PA 器件：17-23 年 5G 基站、终端 PA 需求 CAGR 或达 7%，性能要求提升

基带和射频模块是完成 3/4/5G 蜂窝通讯功能的核心部件。典型射频模块（RF FEM）主要包括功率放大器（PA）、天线开关（Switch）、滤波器（SAW）等器件构成，其中功率放大器 PA 占据着射频前端芯片较大的市场份额。5G 时代渐行渐近，其高频、高速、高功率特点将驱动功率放大器以及其半导体材料的性能较 4G 时代进一步提升。

1. 性能：5G 高频、高速特质驱动 PA 高频和功率等性能提升

3GPP (Third Generation Partnership Project, 第三代合作伙伴计划) 将 5G 的总体频谱资源划分为两个频段，即 FR1 和 FR2。FR1 为 450MHz~6GHz，因此也被称为 Sub6G 频段，是 5G 主频段；FR2 为 24GHz~52GHz，又被成为毫米波频段，是 5G 扩展频段。相较于主要频段分布于 3GHz 以下的 2G、3G 和 4G，5G 频谱向频谱资源更为丰富的高频段延伸，这也就要求功率放大器等射频组件在高频下具有较高的工作性能和效率。

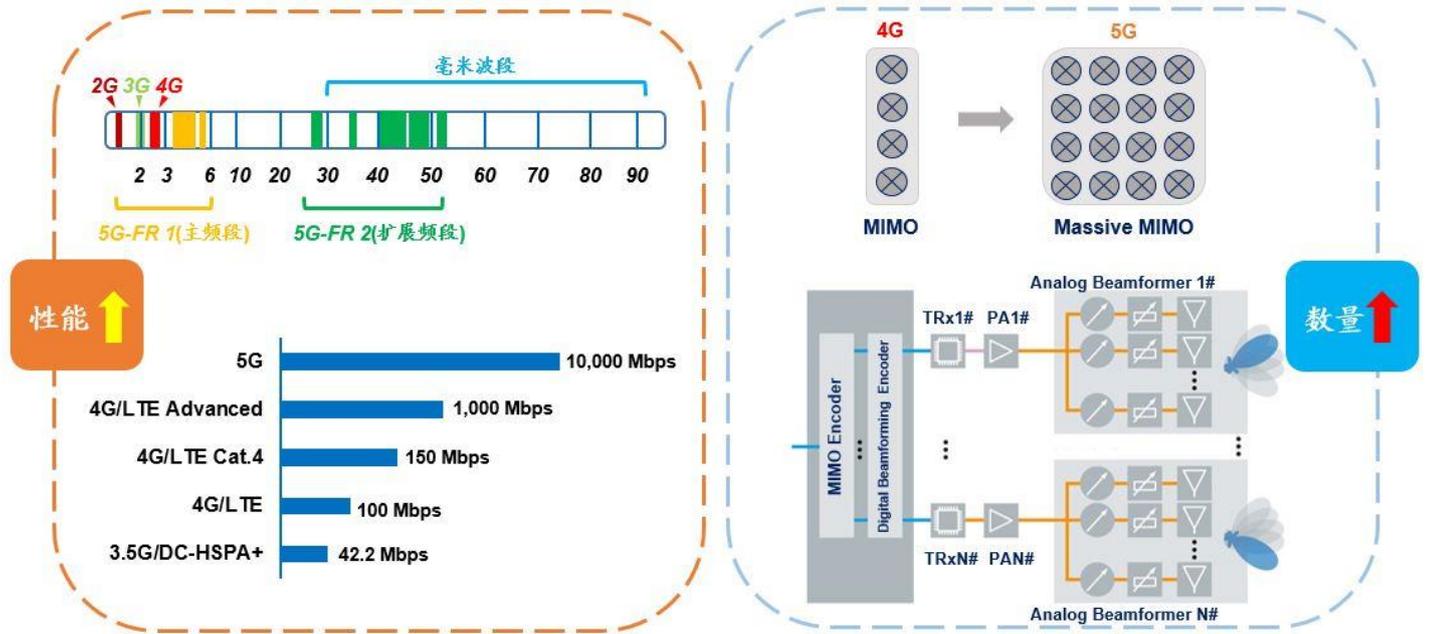
3GPP 将 5G 网络特点归纳为极高的速率（eMBB 场景）、极大的容量（mMTC 场景）以及极低的延时（URLLC 场景）。以速率为例，5G 将实现 1Gbps 以上的速率，为 4G LTE Advanced 的 10 倍以上。同时，从通信原理来看，无线通信最大信号带宽约在载波频率的 5% 左右，即载波频率越高，其可实现的信号带宽也就越大。5G 的 Sub6G 频段常用载波带宽为 100MHz、多载波聚合时可达 200MHz；而毫米波频段常用载波带宽是 400MHz、多载波聚合时可到 800MHz。因此，5G 高峰值速率以及宽频带等特点要求功率放大器等射频组件具有更高的功率表现和工作效率。

2. 数量：5G 基站、终端对 PA 需求大增、17-23 年 CAGR 或达 7%

宏基站：（1）规模方面，5G 宏基站的数量较 4G 时代将大幅增加。5G 通信频谱分布在高频段，信号衰减更快，覆盖能力大幅减弱。相比于 4G，通信信号覆盖相同的区域，5G 基站的数量将大幅增加。于黎明等于 2017 年发表于《移动通信》期刊的论文《中国联通 5G 无线网演进策略研究》中对 3.5GHz 及 1.8GHz 在密集城区和普通城区覆盖能力的模拟测算，密集城区中 3.5GHz 频段上行需要的基站数量是 1.8GHz 的 1.86 倍，普通城区中 3.5GHz 频段上行需要的基站数量则是 1.8GHz 的 1.82 倍；（2）技术方面，大规模 MIMO 技术应用导致单基站所需功率放大器等射频组件数量大幅增加。根据毛建军等于 2015 年发表于《现代雷达》期刊的论文《一种用于 5G 的大规模 MIMO 天线阵设计》，单用户 MIMO、多用户 MIMO 分别是 3G、4G 时代常用的天线技术，而 5G 将引入大规模 MIMO（Massive MIMO）来应对更高的数据速率要求。大规模 MIMO 技术使用大型天线阵列（通常包括 64 个双极化、至少 16 个阵列元素）来实现空间复用，大大提升了特定空间区域内的数据流吞吐量。以 5G 宏基站采用的 64T64R 天线为例，相对于 4G 常用的 4T4R 天线，单个 5G 宏基站天线对射频器件需求量将是 4G 宏基站的 16 倍。

终端：5G终端支持频段增多将直接带动射频前端用量和单机价值量的增长。根据Skyworks数据，通信频段数量从2G时代的4个增加至4G时代的41个，而5G将新增50个频段，总频段数量将达到91个，由此将直接带动射频前端芯片的用量与单机价值的提升。根据Skyworks预测，射频前端单机价值量将从4G的18美金上升至25美金。

图1：5G高频、高速特质驱动PA等射频组件性能提升、数量倍增



数据来源：3GPP、毛建军等于2015年发表于《现代雷达》期刊的论文《一种用于5G的大规模MIMO天线阵设计》、广发证券发展研究中心

5G宏基站的总量、单基站PA需求量以及5G终端单机射频前端用量相较4G时代将明显提升。根据QYR Electronics Research Center的预测，2018年至2023年全球射频前端市场规模预计将以年复合增长率16%持续高速增长，2023年接近313.1亿美元。单就功率放大器看，Yole预计2017-2023年全球功率放大器市场将由50亿美元增加至70亿美元，CAGR达7%左右。

图2: 全球射频前端市场规模预计

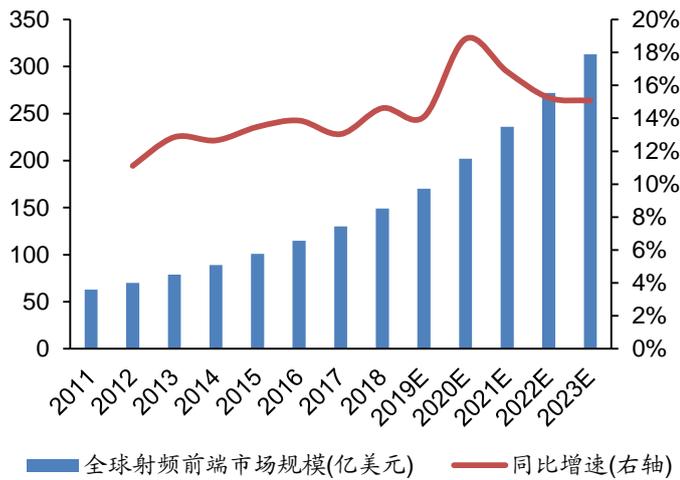
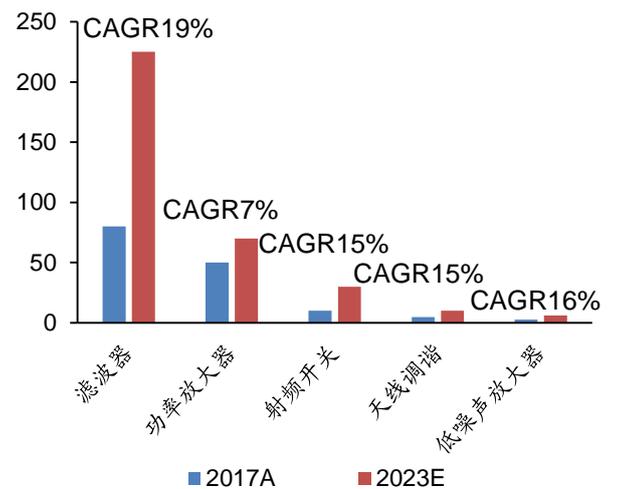


图3: 全球射频前端PA市场容量



数据来源: QYR Electronics Research Center、广发证券发展研究中心

数据来源: Yole、广发证券发展研究中心

(二) PA 衬底: InP、GaAs 等或挤占 Si 基衬底市场份额

根据前文所述, 5G高频、高速、高功率的特点对功率放大器 (PA) 的高频、高速以及功率性能要求进一步提升, 也对制备PA器件的半导体材料的性能要求更为严格。常见的半导体材料以物理性能区分可划分为三代, 其中第一代半导体以Si、Ge为代表, 第二代半导体以GaAs、InP为代表, 第三代半导体以GaN、SiC为代表。

高工作频段要求半导体材料具备更高的饱和速度和电子迁移率。载流子饱和速度和电子迁移率越高, 半导体器件工作速度则越快。因此5G高工作频段对半导体材料的饱和速度和电子迁移率要求更高。由下表可见, 第二代半导体GaAs和InP的电子迁移率分别是Si的5倍和4倍左右, 而第二代、第三代半导体的饱和速度均为Si的2倍以上, 更为适合于5G射频器件应用。

高功率要求则要求半导体材料具备更高的禁带宽度和击穿电场。禁带宽度和击穿电场强度越大, 半导体材料的耐高电压和高温性能越好, 即可以满足更高功率器件的要求。由下表可见, 第二代半导体材料GaAs的禁带宽度约为Si的1.3倍, 而第三代半导体材料GaN的禁带宽度则是Si的3倍。因此, GaAs和GaN等第二代、第三代半导体相对于Si更适合于制备高功率器件。

表1: 第一代、第二代、第三代半导体物理性能参数对比

物理参数	第一代半导体		第二代半导体		第三代半导体	
	Si	Ge	GaAs	InP	GaN	SiC
禁带宽度 (eV)(<5K)	1.12	0.7	1.4	1.3	3.39	3.26
能带跃迁类型	间接	间接	直接	直接	直接	直接

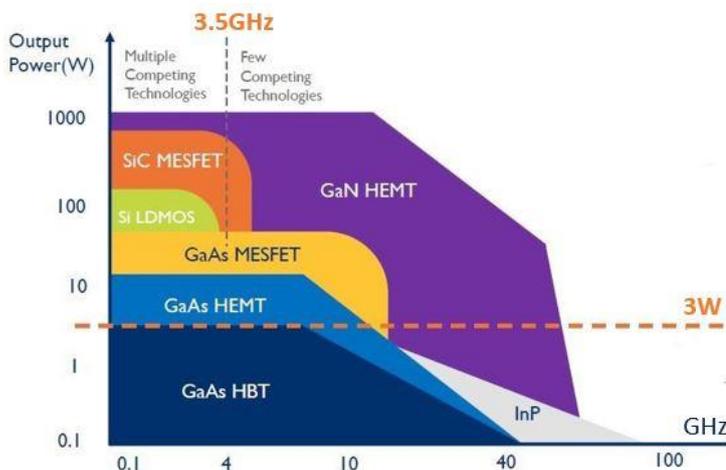
击穿电场 (MV/cm)	0.3	-	0.4	0.5	3.3	3
截止频率 (GHz)	20	-	150	300	150	20
本征载流子浓度 ni (cm ⁻³)	1×10 ⁷	1×10 ¹³	1.5×10 ¹⁰	1×10 ¹⁴	1.9×10 ¹⁰	8.2×10 ⁹
饱和速度 (10 ⁶ cm/s)	10	6	20	22	22	20
电子迁移率 (cm ² /V·s)	1200	3800	6500	4600	1250	800
空穴迁移率 (cm ² /V·s)	420	1400	320	150	250	115
介电常数	11.8	16	12.8	10.8	9	10
热导率 (W/cm·K)	1.5	0.6	0.5	/	1.3	4.9

数据来源：周春锋等于 2015 年发表于《天津科技》期刊的论文《砷化镓材料技术发展及需求》、广发证券发展研究中心

备注：表中 SiC 指的是 4H-SiC 结构的相关参数

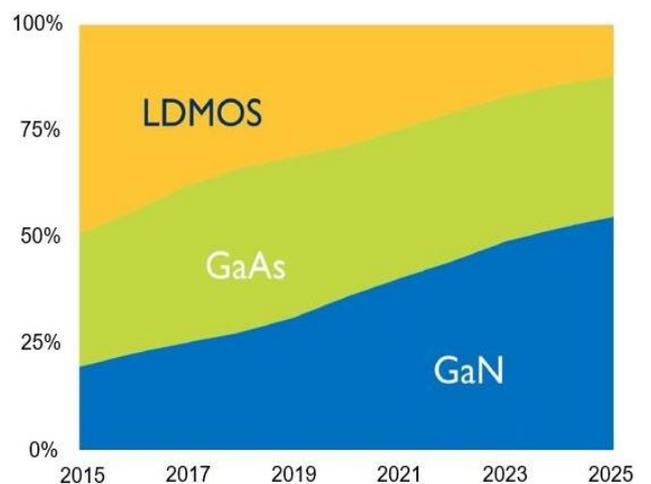
面向5G高频、高功率要求，GaAs、GaN基器件将逐步挤占Si基器件的市场份额。根据前文所述，相较于主要频段分布于3GHz以下的2G、3G和4G，5G频谱向频谱资源更为丰富的高频段延伸，这也使得Si-LDMOS制程的功率器件无法满足超过3.5GHz以上高频段的工作要求；同时，对于输出功率在3W以上的器件，HBT制程的GaAs也无法胜任。因此，对于工作在较高频段、输出功率要求相对较低的功率器件，MESFET和HEMT制程的GaAs将逐步替代传统的Si-LDMOS；而对于工作频段更高、输出功率要求更高的器件，HEMT制程的GaN材料将是最优选择。因此从趋势上看，面向5G高频、高功率要求，GaAs、GaN基器件将逐步挤占Si基器件的市场份额。根据Yole统计数据，2017年全球PA器件用半导体材料约40%采用Si-LDMOS，35%采用GaAs，而25%采用GaN。Yole预计到2025年，Si-LDMOS市场份额将萎缩至15%，而GaN市场份额将达50%，GaAs市场份额则基本稳定。

图4: Si-LDMOS制程的功率器件无法满足超过3.5GHz以上高频段的工作要求



数据来源：Yole、广发证券发展研究中心

图5: 面向5G应用，GaAs、GaN基器件未来将逐步挤占Si基器件的市场份额（2019-2025为预测值）



数据来源：Yole、广发证券发展研究中心

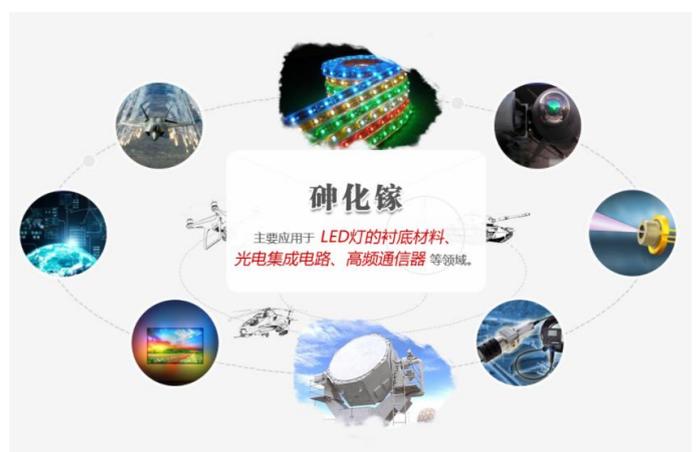
InP比GaAs更先进。磷化铟(InP)半导体材料同硅和砷化镓材料相比具有高的电光转换效率,高的电子迁移率,高的工作温度,以及强抗辐射能力的特点,因而在民用和军事领域的应用广泛,例如在太赫兹(THz)、激光器、太阳能电池、光电探测器和光纤网络系统等领域,包括入户光纤和数据中心传输,以及目前正在大力发展的5G移动网络等,这些都给InP衬底材料带来巨大的市场前景。InP半导体材料具有宽禁带结构,并且电子在通过InP材料时速度快,这意味着用这种材料制作的器件能够放大更高频率或更短波长的信号。例如,在卫星领域,利用InP芯片制造的接收机和放大器就可以获得100GHZ以上的频率。另外,InP基的太阳能电池目前报道最高可以获得44.7%的转化效率,因此其在卫星通信业和卫星太阳能电池领域潜力巨大。因此,InP是一种比GaAs更先进的半导体材料,在光纤通信、毫米波和无线应用等方面具有明显的优势。这就是为什么虽然同属III-V族化合物,GaAs发展较早且相对价格便宜,而InP虽然起步晚却发展迅速的原因。

图6: InP主要应用领域



数据来源: 云南锗业官网、广发证券发展研究中心

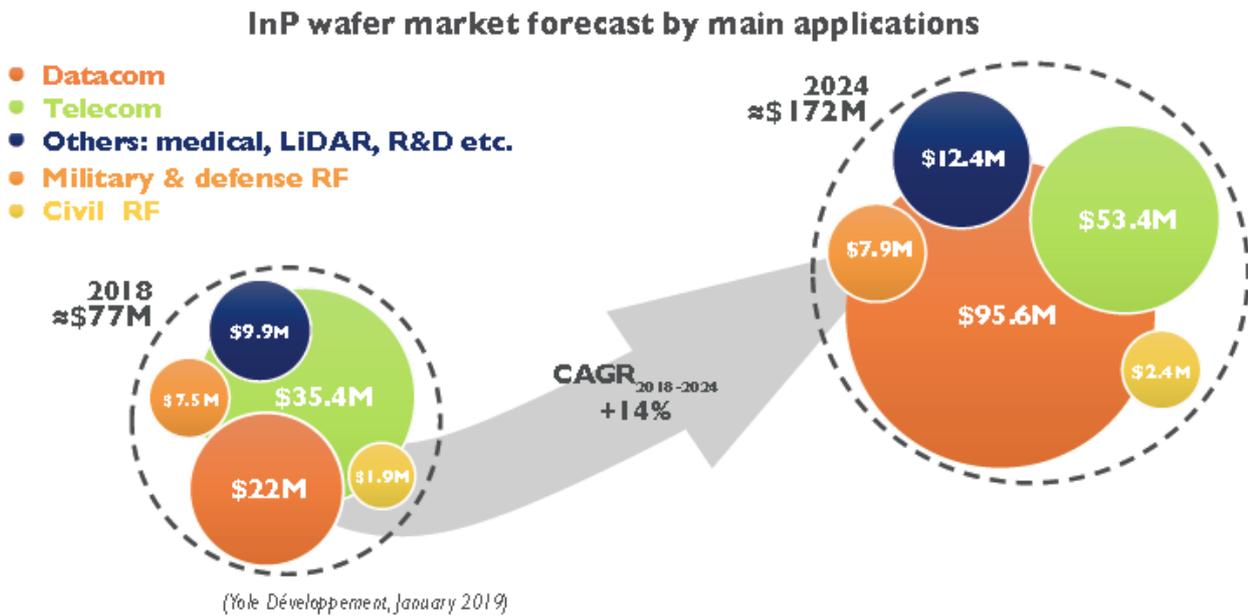
图7: GaAs主要应用领域



数据来源: 云南锗业官网、广发证券发展研究中心

Yole预测到2024年,InP市场规模将达到1.72亿美元。目前,InP晶圆市场真正的增长是在光子应用领域。在光通信领域,InP在发射、光检测、调制、混合等诸多功能上都具有很高的性能,但由于其成本较高,经常受到其他半导体材料的挑战。尽管如此,InP仍然是用于电信和数据通信应用的收发器中激光二极管不可或缺的构件。随着5G的快速发展和数据通信业务的迅猛增长,InP晶圆和外延片的需求都将快速提升,根据Yole测算数据,到2024年,InP市场规模将达到1.72亿美元,2018年至2024年的复合年增长率为14%。

图8: InP应用市场规模预测



数据来源: Yole、广发证券发展研究中心

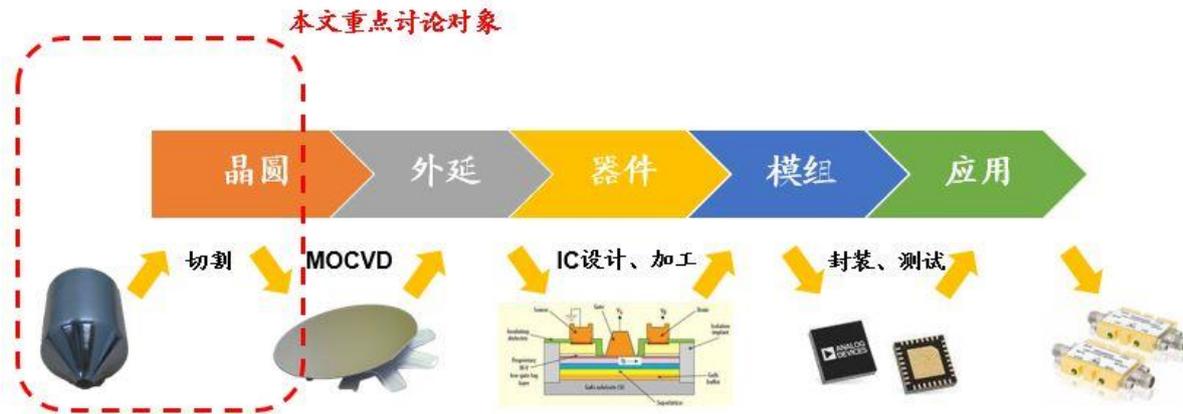
二、自主安全可控推进 InP 国产化进程

(一) InP 技术: 制备高纯半导体单晶为组件制造的首要环节

晶胞重复的单晶半导体材料能够提供芯片制作工艺和器件特性所要求的电学和机械性质, 而缺陷较多的多晶半导体材料则对芯片制备不利, 因此制备高纯的单晶半导体材料是芯片等器件制造的首要环节。单晶生长的基本工艺原理是, 待多晶原料经加热熔化、温度合适后, 经过将籽晶浸入、熔接、引晶、放肩、转肩、等径、收尾等步骤, 完成一根单晶锭的控制。

单晶锭经过裁切、外径研磨、切割、刻蚀、抛光、清洗等流程后成为晶圆片, 之后进入芯片生产加工流程。芯片制造过程可概分为晶圆处理工序 (Wafer Fabrication)、晶圆针测工序 (Wafer Probe)、封装工序 (Packaging)、测试工序 (Initial Test and Final Test) 等几个步骤。其中晶圆处理工序和晶圆针测工序为前道 (Front End) 工序, 而封装工序和测试工序为后道 (Back End) 工序。

图9：制备高纯半导体单晶为组件制造的首要环节



数据来源：周铁军等于 2018 年发表于《科技风》期刊的论文《VGF 法 Si-GaAs 单晶生长过程中产生位错的因素》、广发证券发展研究中心

为了制备高质量InP单晶，必须要纯度高、近化学配比多晶原料作为前提保障。当多晶原料熔化后，偏离化学配比较多时容易在晶体内部形成夹杂物、沉淀、孪晶和位错等缺陷，这些缺陷可能严重损害晶体质量和晶体的物理特性。因而，控制化合物半导体多晶料或者熔体的配比度一直是制备晶体材料的首要任务，也是制备高离解压化合物半导体的难点。

InP晶体在熔点温度1062℃下，磷的饱和蒸汽压大约为2.75MPa，而合成过程中，红磷的蒸汽压可高达10MPa，因而制备InP不能像制备GaAs一样在高压釜内直接混合合成，通常需要溶质缓慢的扩散技术或者注入合成技术合成InP。为合成InP多晶原料，常用方法是把高纯红磷和高纯度金属铟在压力容器内进行高压化合，然后把化合好的InP材料在InP单晶炉内制备成单晶。InP合成方法主要有溶质扩散合成技术（Synthesis Solute Diffusion-SSD），水平布里奇曼法（HB），垂直梯度凝固法生长（VGF），水平梯度凝固法（HGF）和原位直接合成法（In-situ Synthesis）等。

大尺寸的InP单晶是未来InP制备的方向。早在2002年，美国的AXT利用温度梯度凝固技术制备了6英寸的磷化铟单晶。另外，日本昭和电工和住友公司也分别利用一种改进的热壁液封直拉技术（LEC）和 vertical boat 技术制备了6英寸的磷化铟单晶。目前，国际上4英寸的磷化铟单晶及加工技术已开始实现产业化。6英寸的磷化铟单晶生长及加工技术正在向着批量化的方向发展，相信不久的将来，4英寸的磷化铟单晶将代替2英寸衬底成为市场主打产品，6英寸的磷化铟单晶衬底将向着高端产品发展。

图10: InP单晶衬底



数据来源: JXTG 官网、广发证券发展研究中心

(二) InP 格局: 5G 带动下, InP 国产化进程有望加速

未来的无线网络频率高达25GHZ, 硅和砷化镓无法做到该频率, 但是其他化合物半导体又过于昂贵, 磷化铟成本低、节能, 性能好, 在高端产品的民用化过程中, InP器件将获得巨大的发展。目前全世界只有美国的AXT, 日本的SUMITOMO ELECTRIC, 英国的WAFER TECH 和法国的 INP ACT少数几家公司能够满足未来对大尺寸晶体衬底的要求, InP未来市场发展前景广阔。目前InP市场中, 常用的有 2 英寸和3英寸衬底, 4英寸和6英寸衬底则是未来竞争的焦点。

美国的AXT公司, 是InP衬底制备的最大的国际公司之一, 其在 2015 年7月末全额收购了CRYSTACOMM, 获得了用以制备磷化铟的多晶料和LEC法制备大尺寸单晶的技术, AXT主要为垂直梯度凝固法生长 (VGF) 技术, LEC法可以制备大尺寸晶体, 而VGF可以制备低位错的衬底, CRYSTACOMM之前就从事生长 2、3、4 英寸晶体, 也在研发6英寸晶体晶体生长技术, 6英寸磷化铟衬底的生长制造还处于发展的初级阶段。

图11: AXT主要产品情况

Products	Wafer Diameter	Sample of Applications
Substrate Group Indium Phosphide (InP)	2", 3", 4"	<ul style="list-style-type: none"> Fiber optic lasers and detectors Passive Optical Networks (PONs) Data center connectivity using light/lasers Silicon photonics 5G Photonic Integrated circuits (PICs) High efficiency terrestrial solar cells (CPV) RF amplifier and switching Infrared light-emitting diode (LEDs) motion control Infrared thermal imaging
Gallium Arsenide (GaAs - semi-insulating)	1", 2", 3", 4", 5", 6"	<ul style="list-style-type: none"> Power amplifiers for wireless devices Direct broadcast television High-performance transistors Satellite communications High efficiency solar cells for drones and automobiles
Gallium Arsenide (GaAs - semi-conducting)	1", 2", 3", 4", 5", 6"	<ul style="list-style-type: none"> 3-D sensing using VCSELs Data center communication using VCSELs High brightness LEDs Lasers Near-infrared sensors Printer head lasers and LEDs Laser machining, cutting and drilling Optical couplers High efficiency solar cells for drones and automobiles Night vision goggles Satellite solar cells
Germanium (Ge)	2", 4", 6"	<ul style="list-style-type: none"> Optical sensors and detectors Terrestrial concentrated photo voltaic (CPV) cells Multi-junction solar cells for satellites Infrared detectors

数据来源: AXT 2019 三季度、广发证券发展研究中心

中国的InP晶体行业发展起步较晚,由于技术和品牌等方面的缺陷,一直没有形成被市场广泛接受的自主品牌。因此目前国内市场仍由发达国家的技术和产品主导。随着5G发展及贸易保护主义抬头,中国芯片产业自主安全可控迫在眉睫,有望快速推进InP等芯片材料国产替代进程。

表2: 中国InP单晶生长设备和生长单晶衬底主要企业

	制备高压单晶生长系统的厂家	磷化铟单晶制备主要生产厂
LEC 单晶炉	北京京仪有限公司及相关公司	中国电科十三所
	中国电科十三所	中国科学院半导体所
	西安理工大学	台山华兴光电科技有限公司
VGF 单晶炉	青岛赛瑞达电子装备有限公司	广东天鼎思科新材料有限公司
	青岛育豪微电子设备有限公司	云南锗业股份有限公司
	北京京仪有限公司及相关公司	广东先导半导体材料有限公司

数据来源: CNKI、广发证券发展研究中心

(三) InP 利润: InP 晶片毛利至少在 120-160 美元/片

据Wafer World网站,有报价的InP均为VGF法生产所得,直径在50-100mm之

间，单片价格在400-1600美元/片之间。据AXT 2019年三季报，该公司前三季度产品毛利率为32.3%，考虑其部分材料产品的影响，晶片毛利率应该更高一些。若假设单片InP价格为400美元，毛利率30-40%，则单片InP晶片毛利至少在120-160美元。

图12: InP晶片市场销售价格（美元/片）

SKU	Quantity	Price	Material	Diameter	Type	Dopant	Growth method	Orientation	Resistivity	Thickness	Surface	Grade
5106	5	\$ 2,000.00	InP	50.8	P	Zn	VGF	(100)		275-325	P/E	PRIME
5104	5	\$ 2,000.00	InP	50.8	Si	Fe	VGF	(100)	5000000	325-375	P/E	PRIME
5108	5	\$ 4,000.00	InP	76.2	N	Si	VGF	(100)		600-650	P/E	PRIME
5109	5	\$ 4,000.00	InP	76.2	P	Zn	VGF	(100)		600-650	P/E	PRIME
5107	5	\$ 4,000.00	InP	76.2	Si	Fe	VGF	(100)	5000000	600-650	P/E	PRIME
5111	5	\$ 8,000.00	InP	100.0	N	Si	VGF	(100)		600-650	P/E	PRIME
5110	5	\$ 8,000.00	InP	100.0	Si	Fe	VGF	(100)	5000000	600-650	P/E	PRIME

数据来源: Wafer World、广发证券发展研究中心

三、投资建议：关注云南锗业、有研新材等

5G时代将带来以InP、GaAs为代表的第二、第三代半导体材料的需求倍增，但目前大规格、高品质InP、GaAs单晶衬底基本为海外厂商垄断，国产化替代空间广阔。关注前端射频器件和芯片国产化替代背景下，国内具备InP、GaAs单晶衬底生产技术相关上市公司的投资机会，以及相关上市公司云南锗业、有研新材等。

（一）云南锗业：加快布局 InP 产能

公司是国内最大的锗系列产品生产商，主营材料级产品（区熔锗锭、二氧化锗）及深加工方面的光伏级锗产品（太阳能锗衬底片）、红外锗系列产品（红外级锗单晶、锗镜片、镜头、红外热像仪）、光纤级锗产品（光纤用四氯化锗），同时积极布局非锗半导体材料级产品（砷化镓、磷化铟单晶片）。

据公司年报,公司拥有丰富的锗资源储量及完整的一体化锗产业链,产品产能:区熔锗锭47.6吨/年,太阳能锗衬底片30万片/年,光纤用四氯化锗60吨/年,红外光学锗镜头3.55万套/年。公司2019年H1营收为2.3亿元,归母净利润为-824万元(锗价下滑影响);锗材料产品营收占比50%,红外、光纤级锗产品营收占比14%、12%。近几年深加工高端锗产品营收占比有所提升。

公司年报显示子公司云南鑫耀具备砷化镓单晶片产能80万片/年(以4英寸计)。据公司2019年12月27日公告,控股子公司云南鑫耀半导体拟建设一条磷化铟单晶片生产线,生产线建成后公司将具备年产15万片4英寸磷化铟单晶片的能力。本项目建设期2年,总投资3.2亿元,此前公司已完成5万片/年2英寸磷化铟单晶及晶片产业化建设项目。

(二) 有研新材: 具备第二代半导体材料生产技术

根据公司2018年报,公司主要从事微电子光电子用薄膜材料、超高纯金属及稀有金属材料、高端稀土功能材料、红外光学及光纤材料、生物医用材料等新材料的研发与制备。其中,在先进半导体材料和红外光学材料领域,拥有红外锗单晶、水平GaAs单晶、CVD硫化锌生产线。分业务看,根据其2018年年报,公司高纯/超高纯金属材料和稀土材料营收占比分别为52.1%、38.1%,是公司主要产品领域,2018年GaAs单晶营收占比较低。

据公司官网,子公司有研光电是全球领先的水平砷化镓单晶制造商,国内先进的锗单晶和磷化铟单晶制造商,产品具有良好的一致性、均匀性和透过率。可制备2-3英寸砷化镓单晶,2英寸、25英寸磷化铟单晶,最大直径300mm的红外锗单晶以及4英寸低位错锗单晶。

四、风险提示

1. 国内及海外5G推广进程不及预期;
2. InP主流生产工艺发生重大变化;
3. 半导体材料技术进步, InP被其他材料快速替代。

广发有色行业研究小组

- 巨国贤**：首席分析师，材料学硕士，21年有色金属及新材料产业、上市公司研究经验，带领有色金属研究团队荣获四届（2013年、2014年、2016年、2017年）新财富最佳分析师第一名、水晶球第一名、金牛第一名、最受保险信赖分析师评选第一名，2019年新财富金属和金属新材料行业第四名。
- 宫帅**：资深分析师，对外经济贸易大学金融学硕士，4年有色金属行业工作经验，2016年加入广发证券发展研究中心。2016年、2017年新财富最佳分析师第一名、水晶球第一名、金牛第一名、最受保险信赖分析师评选第一名团队成员，2019年新财富金属和金属新材料行业第四名团队成员。
- 黄礼恒**：资深分析师，中国地质大学（北京）地质学硕士，2017年加入广发证券发展研究中心。2017年新财富最佳分析师第一名、水晶球第一名、金牛第一名、最受保险信赖分析师评选第一名团队成员，2019年新财富金属和金属新材料行业第四名团队成员。

广发证券—行业投资评级说明

- 买入**：预期未来12个月内，股价表现强于大盘10%以上。
- 持有**：预期未来12个月内，股价相对大盘的变动幅度介于-10%~+10%。
- 卖出**：预期未来12个月内，股价表现弱于大盘10%以上。

广发证券—公司投资评级说明

- 买入**：预期未来12个月内，股价表现强于大盘15%以上。
- 增持**：预期未来12个月内，股价表现强于大盘5%-15%。
- 持有**：预期未来12个月内，股价相对大盘的变动幅度介于-5%~+5%。
- 卖出**：预期未来12个月内，股价表现弱于大盘5%以上。

联系我们

	广州市	深圳市	北京市	上海市	香港
地址	广州市天河区马场路 26号广发证券大厦35楼	深圳市福田区益田路 6001号太平金融大厦 31层	北京市西城区月坛北 街2号月坛大厦18层	上海市浦东新区世纪 大道8号国金中心一 期16楼	香港中环干诺道中 111号永安中心14楼 1401-1410室
邮政编码	510627	518026	100045	200120	
客服邮箱	gfyf@gf.com.cn				

法律主体声明

本报告由广发证券股份有限公司或其关联机构制作，广发证券股份有限公司及其关联机构以下统称为“广发证券”。本报告的分销依据不同国家、地区的法律、法规和监管要求由广发证券于该国家或地区的具有相关合法合规经营资质的子公司/经营机构完成。

广发证券股份有限公司具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格，接受中国证监会监管，负责本报告于中国（港澳台地区除外）的分销。广发证券（香港）经纪有限公司具备香港证监会批复的就证券提供意见（4号牌照）的牌照，接受香港证监会监管，负责本报告于中国香港地区的分销。

本报告署名研究人员所持中国证券业协会注册分析师资质信息和香港证监会批复的牌照信息已于署名研究人员姓名处披露。

重要声明

广发证券股份有限公司及其关联机构可能与本报告中提及的公司寻求或正在建立业务关系，因此，投资者应当考虑广发证券股份有限公司及其关联机构因可能存在的潜在利益冲突而对本报告的独立性产生影响。投资者不应仅依据本报告内容作出任何投资决策。

本报告署名研究人员、联系人（以下均简称“研究人员”）针对本报告中相关公司或证券的研究分析内容，在此声明：（1）本报告的全部分析结论、研究观点均精确反映研究人员于本报告发出当日的关于相关公司或证券的所有个人观点，并不代表广发证券的立场；（2）研究人员的部分或全部的报酬无论在过去、现在还是将来均不会与本报告所述特定分析结论、研究观点具有直接或间接的联系。

研究人员制作本报告的报酬标准依据研究质量、客户评价、工作量等多种因素确定，其影响因素亦包括广发证券的整体经营收入，该等经营收入部分来源于广发证券的投资银行类业务。

本报告仅面向经广发证券授权使用的客户/特定合作机构发送，不对外公开发布，只有接收人才可以使用，且对于接收人而言具有保密义务。广发证券并不因相关人员通过其他途径收到或阅读本报告而视其为广发证券的客户。在特定国家或地区传播或者发布本报告可能违反当地法律，广发证券并未采取任何行动以允许于该等国家或地区传播或者分销本报告。

本报告所提及证券可能不被允许在某些国家或地区内出售。请注意，投资涉及风险，证券价格可能会波动，因此投资回报可能会有所变化，过去的业绩并不保证未来的表现。本报告的内容、观点或建议并未考虑任何个别客户的具体投资目标、财务状况和特殊需求，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的投资建议。本报告发送给某客户是基于该客户被认为有能力独立评估投资风险、独立行使投资决策并独立承担相应风险。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被广发证券认为可靠，但广发证券不对其准确性、完整性做出任何保证。报告内容仅供参考，报告中的信息或所表达观点不构成所涉证券买卖的出价或询价。广发证券不对因使用本报告的内容而引致的损失承担任何责任，除非法律法规有明确规定。客户不应以本报告取代其独立判断或仅根据本报告做出决策，如有需要，应先咨询专业意见。

广发证券可发出其它与本报告所载信息不一致及有不同结论的报告。本报告反映研究人员的不同观点、见解及分析方法，并不代表广发证券的立场。广发证券的销售人员、交易员或其他专业人士可能以书面或口头形式，向其客户或自营交易部门提供与本报告观点相反的市场评论或交易策略，广发证券的自营交易部门亦可能会有与本报告观点不一致，甚至相反的投资策略。报告所载资料、意见及推测仅反映研究人员于发出本报告当日的判断，可随时更改且无需另行通告。广发证券或其证券研究报告业务的相关董事、高级职员、分析师和员工可能拥有本报告所提及及证券的权益。在阅读本报告时，收件人应了解相关的权益披露（若有）。

本研究报告可能包括和/或描述/呈列期货合约价格的事实历史信息（“信息”）。请注意此信息仅供用作组成我们的研究方法/分析中的部分论点/依据/证据，以支持我们对所述相关行业/公司的观点的结论。在任何情况下，它并不（明示或暗示）与香港证监会第5类受规管活动（就期货合约提供意见）有关联或构成此活动。

权益披露

(1) 广发证券（香港）跟本研究报告所述公司在过去12个月内并没有任何投资银行业务的关系。

版权声明

未经广发证券事先书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、刊登、转载和引用，否则由此造成的一切不良后果及法律责任由私自翻版、复制、刊登、转载和引用者承担。