
化合物半導体産業の現状と課題

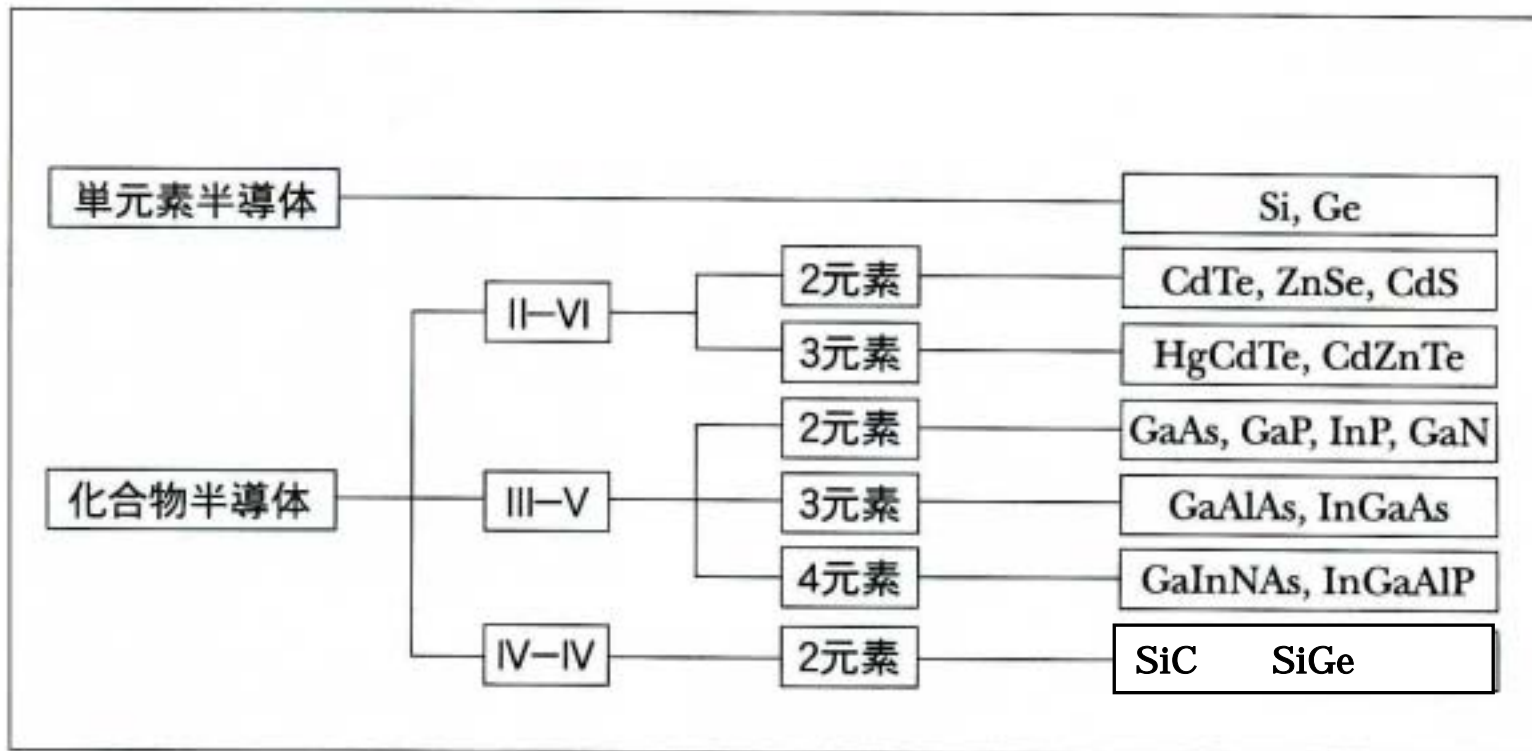
非鉄金属課

目次

1. 化合物半導体の概要・特性
 - ・化合物半導体の種類
 - ・主要化合物半導体の物理定数
 - ・化合物半導体の主な用途
2. 化合物半導体の市場
 - ・世界市場 - 材質別、材料別
 - ・国内市場 - 材質別、材料別
 - ・製品価格
3. SiCの需要動向
 - ・SiC単結晶の特性
 - ・SiCの需要、価格、SiCの事業化動向
4. GaNの需要動向
 - ・GaNエピ市場
 - ・白色LEDの市場
5. 貿易動向
6. 企業構造
 - ・国内化合物半導体材料メーカーの状況・出荷額
 - ・世界の化合物半導体材料メーカーと会社規模
7. 技術動向
 - ・電子デバイス・パワーデバイスの最近の動向
 - ・学会での化合物半導体に係わる技術課題
 - ・特許動向 - 技術課題、各社件数
 - ・政府支援プロジェクト - 国内、国外
8. 化合物半導体エピ装置メーカーの状況
 - ・装置メーカーと販売額、動向
9. 海外展開
10. 原料調達の動向
 - ・Ga、In、P、Asの需給、価格
11. 化合物半導体のロードマップ
 - まとめ
 - 国内半導体事業の強み弱み
12. 技術流出防止指針
13. 韓国における転職規制の概要

1. 化合物半導体の概要・特性

化合物半導体の種類



注) JAMS-CS統計では、SiCは含まれていない

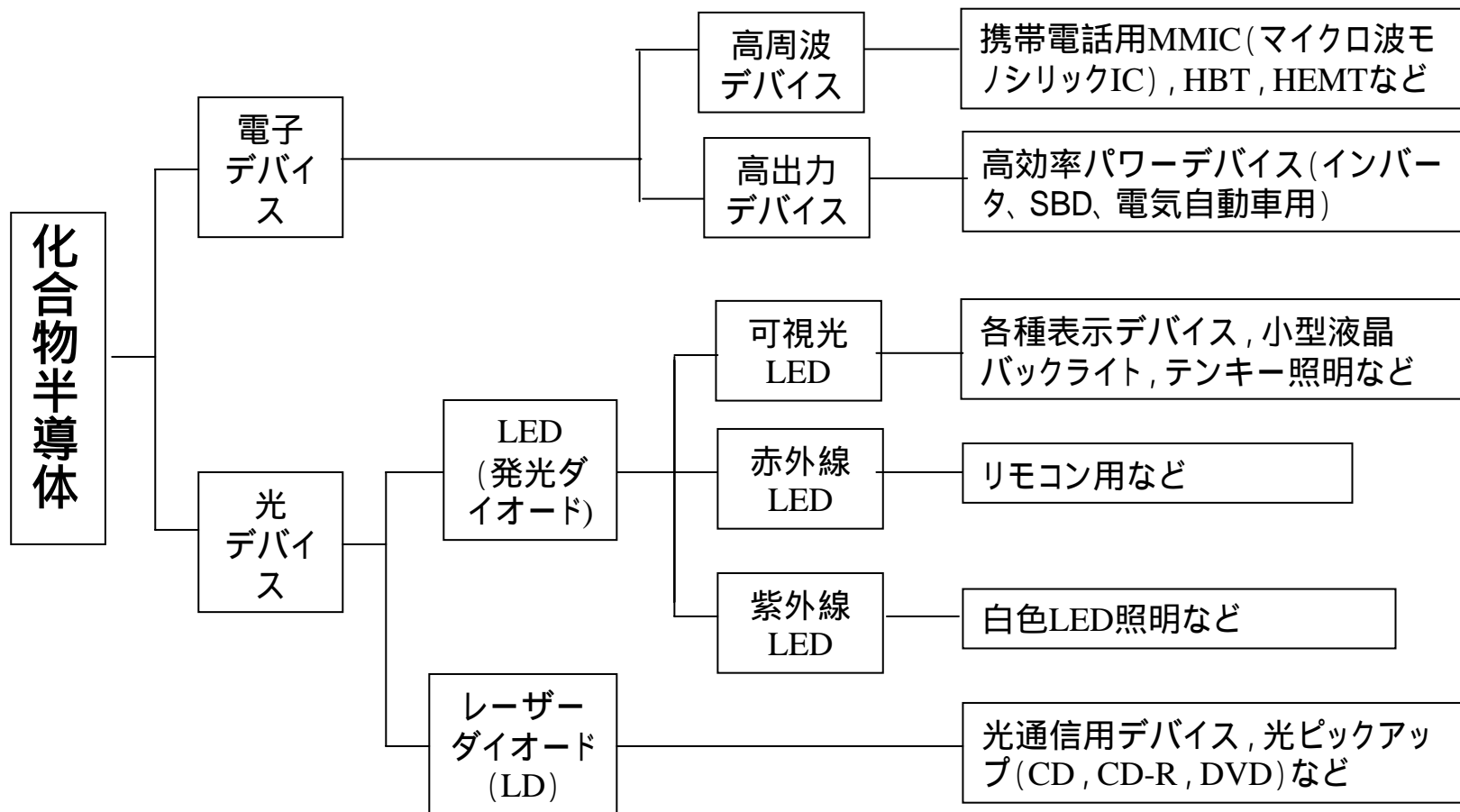
主要化合物半導体の物理定数

- ・GaAs、InPはSiと比べ、高移動度 高周波デバイス
- ・InPは適正な格子定数とバンドギャップ 光通信用の半導体レーザー
- ・SiC、GaNは高バンドギャップ、熱伝導率、絶縁破壊電界 高耐圧・耐熱・高周波パワーデバイス

	格子定数()	熱膨張係数 ($10^{-6}/K$)	熱伝導率 ($Wcm^{-1}K^{-1}$)	バンドギャップ (eV)	移動度300K ($cm^2V^{-1}s^{-1}$)	絶縁破壊電界 (MV/cm)
Si	5.43	2.4	1.3	1.11	1500	0.3
GaP	5.45	5.3 ~ 5.81	1.1	2.26	200	-
GaAs	5.65	6	0.55	1.43	8500	0.6
InP	5.45	4.5	0.68	1.34	5400	-
GaN	a=3.189	5.59	2.0	3.37	1200	2.6
	c=5.178	3.17				
SiC(4H)	a=3.073	4.2	4.9	3.23	1000	2.8
	c=10.053	4.68				
Si_{1-x}Gex	$5.43+0.2x+0.027x^2$	-	$0.046+0.084x$	$2.33+3.49x-0.50x^2$	$1450-4325x$ ($0 < x < 0.3$)	-

出典：BCC,Inc Reportなど

化合物半導体の主な用途 - 1



化合物半導体の主な用途 - 2

- ・LED、LDの光デバイス用が過半。独自の有望市場開拓が必要。
- ・シリコンウェーハと比べ、高い値段がネックとなっている。

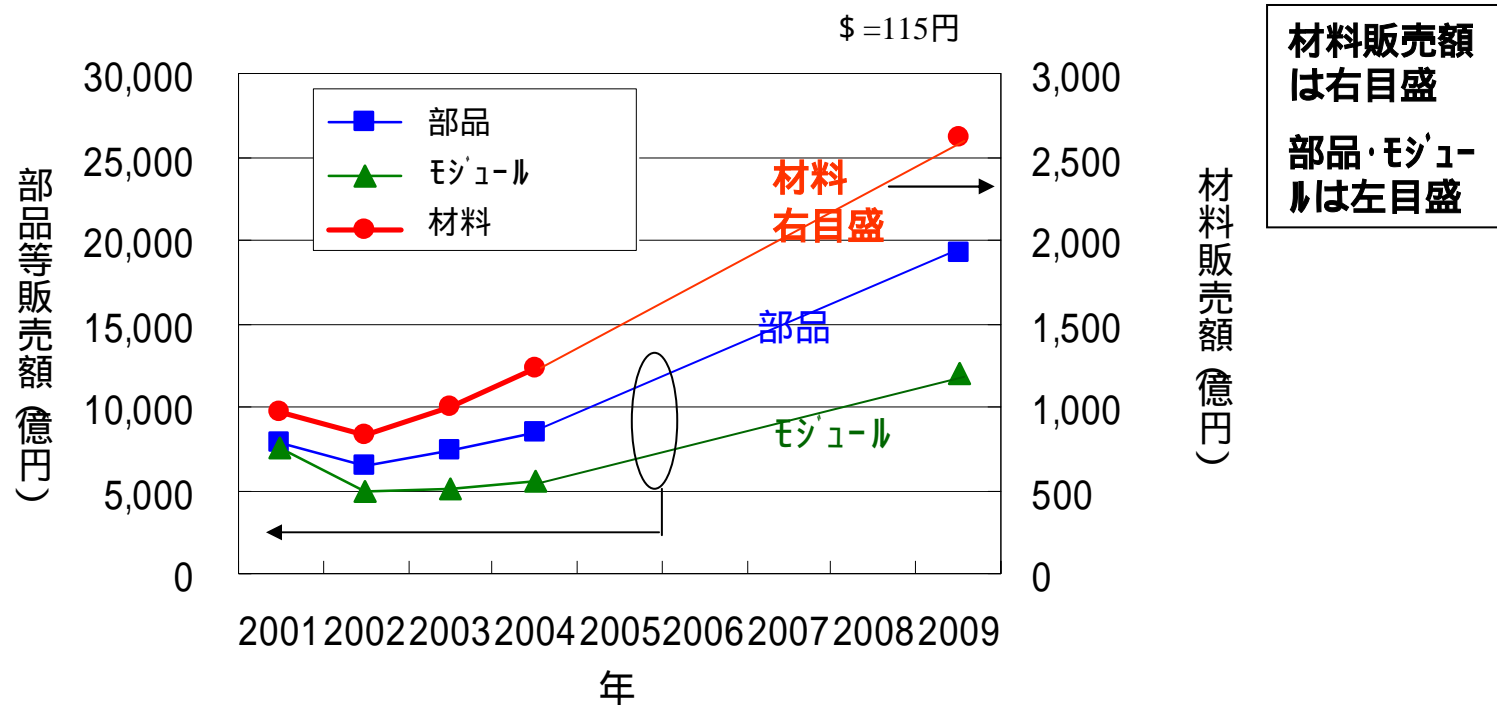
化合物半導体	光デバイス用途	電子デバイス用途
GaAs	6割がLED(波長500~1,000nm:緑-赤,赤外)やLDなどの光デバイス向DVDの光ピックアップに使用。	RFマイクロデバイス、ソーラーエネルギーシステム、センサー&ディテクター
GaP	波長帯500~700nmの可視光LEDとして、各種の表示素子(赤,緑)や携帯電話の着信ランプ、テンキーボタン照明用・液晶バックライト用(黄色,緑色)に使用。	-
InP	波長1,000~1,600nm帯の光通信市場向け受・発光素子に多用。用途の75%(金額ベース)が発光素子としての半導体レーザー向。	受光素子を中心とした電子デバイス。RFマイクロデバイス、センサー&ディテクター
GaN	波長400~500nmで、交通信号や各種表示用途、DVDLDに使用。また、白色LEDとして、国内一般照明市場への適用を検討中。開発中。	パワーデバイス、RFマイクロデバイス、基地局用高出力デバイス、センサー&ディテクター
SiC	LED向けGaN薄膜用基板に大部分使用。	ショットキーバリアダイオード向(SBD)、インバーター、SiCデバイス開発用。
SiGe	-	高速トランジスタ用。自動車用衝突防止レーダーデバイス用。

出典:シーエムシー出版WEBレポート「白色LEDの市場」、WEB

2. 化合物半導体産業の市場

(1) 化合物半導体の世界市場

- ・世界の化合物半導体材料市場は現状1000～1200億円。2009年には2500億円と予想。
- ・化合物半導体部品等の市場は現状1.5兆円。2009年には3兆円となる予想。

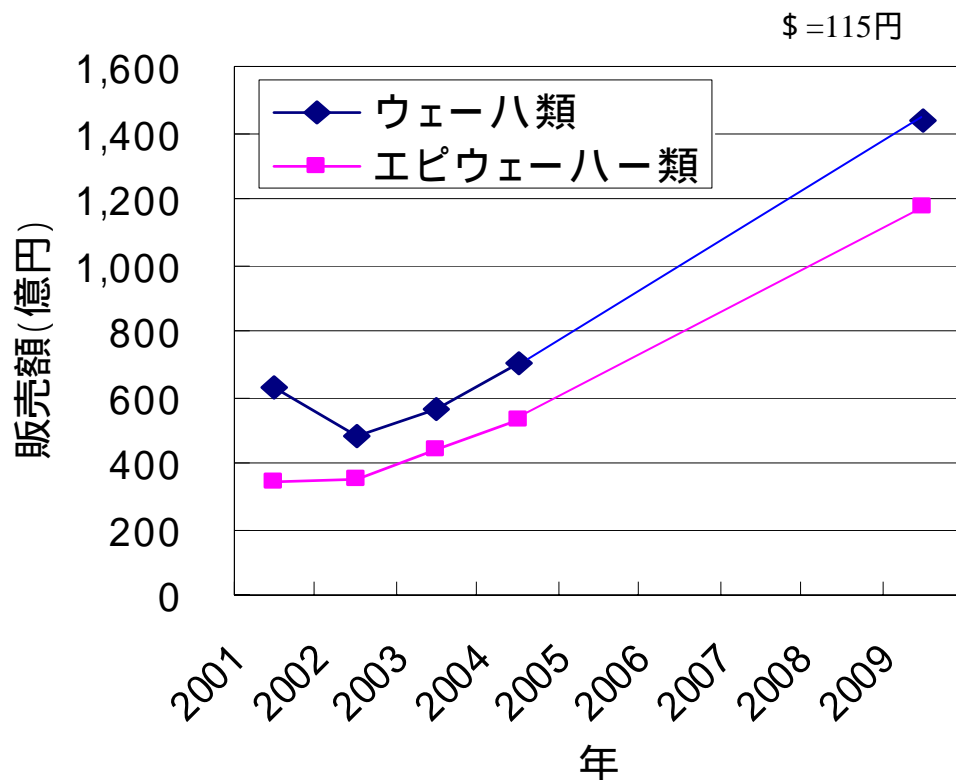


出典：BCC, Inc Report

化合物半導体のウェーハとエピの世界市場比較

・2001年ではウェーハ類の市場は全体の約65%と大きかったが、現状はウェーハ類とエピウェーハ類の市場規模は接近。

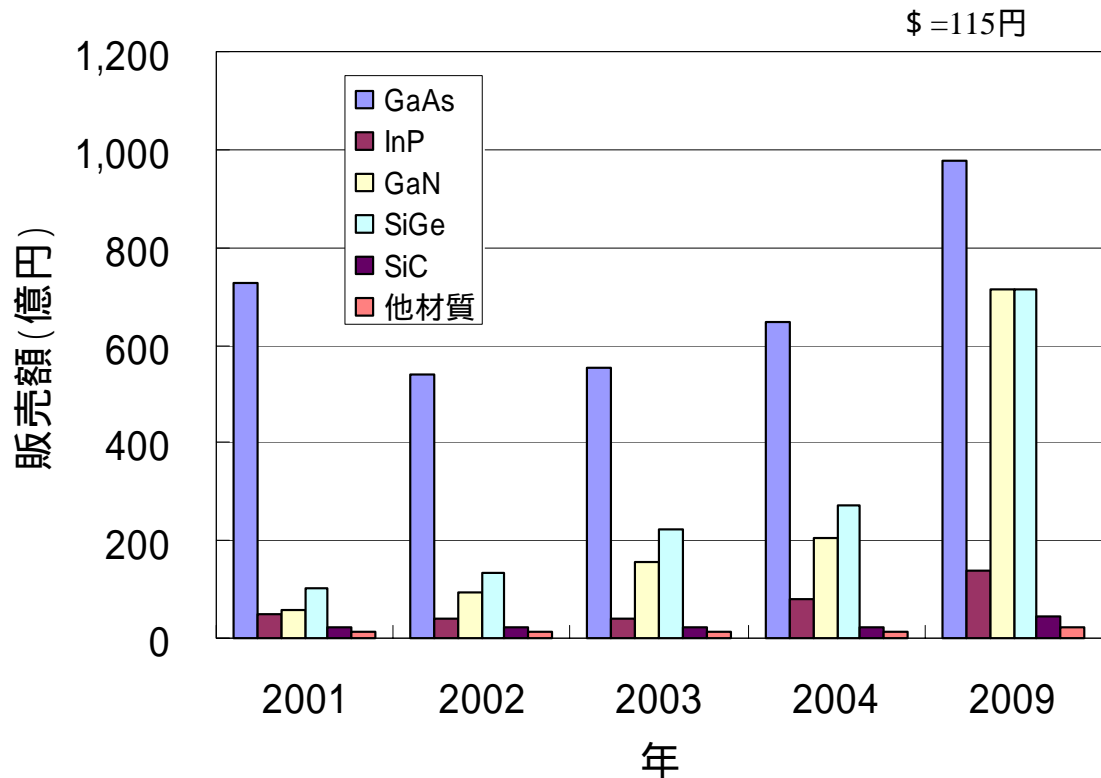
・**デバイス性能向上に伴い、ますますエピ技術の重要性は増す方向。**



出典：BCC, Inc Report

化合物半導体材質別の世界市場

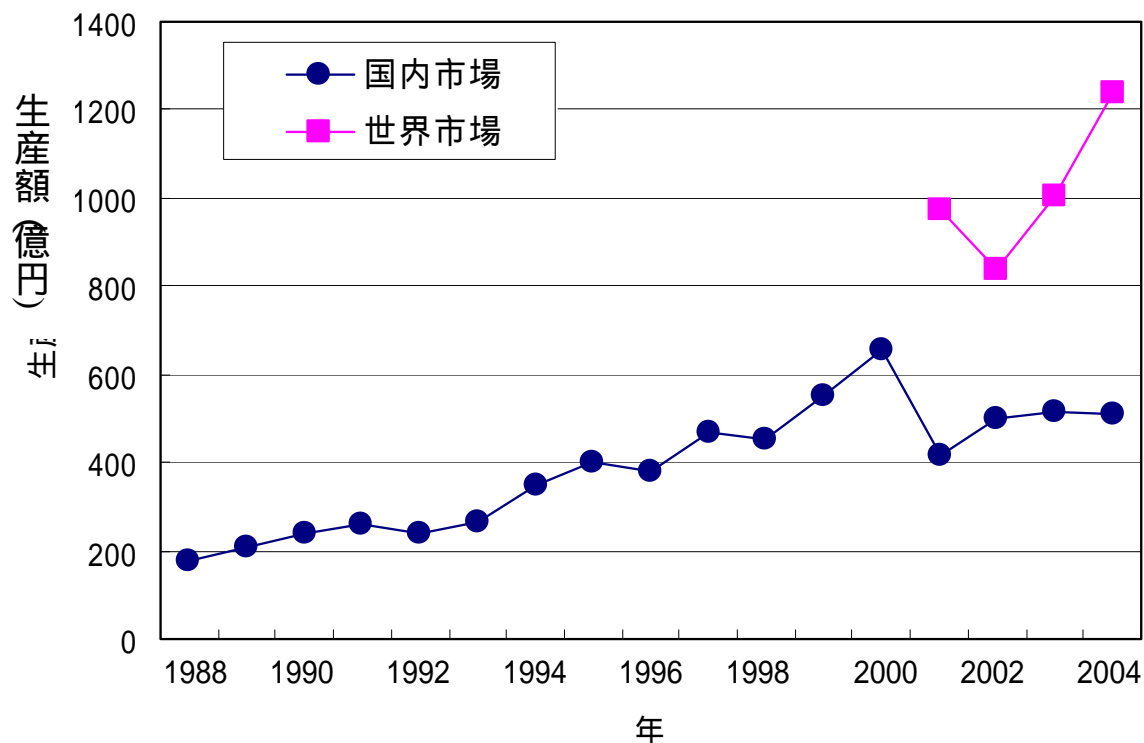
- ・GaAs市場は今後も成長するが、GaNとSiGeの市場拡大が著しいとの予想。SiC(LED除く)の市場拡大はあまりないとの予想もある。
- ・SiGeは高速トランジスター(HBTs、MODFETs)に市場拡大と予想。
- ・GaNは高耐圧・耐熱・高周波パワーデバイス、インバータ用に市場拡大と予想。



(2) 化合物半導体の国内市場(SiC除く)

化合物半導体全体 (GaNは含んでいない)

- ・化合物半導体の出荷金額は2000年度迄は年平均10%の好調な伸びだったが、ITバブル崩壊で2001年度に急激な減少があり、成長が停滞中。
- ・直近の世界シェアは約50%との予想もある。今後新しい市場開拓が必須。

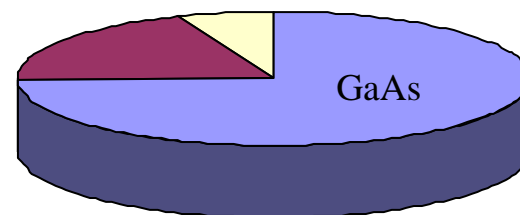
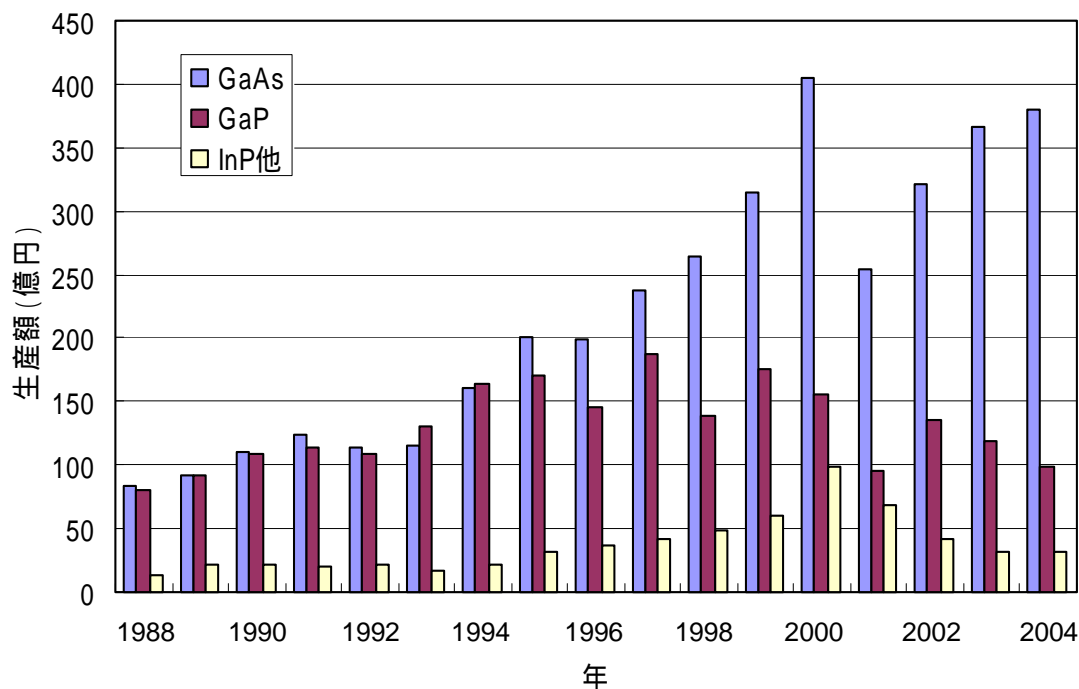


注) 生産額はJAMS-CS
会員会社8社のトータル

住友電気工業
日立電線
三菱化学
同和鋳業
日鋳マテリアルズ
住友金属鋳山
昭和電工
信越半導体

国内化合物半導体結晶別(SiC以外)の出荷額

- ・GaAsの需要(DVD用ピックアップレーザー等)比率は増大中で、2004年度では構成比率が75%となった。LED特性の劣るGaPは減少、国内光通信網設備投資低減でInPは減少傾向。
- ・GaAsのLED及び携帯電話用デバイスが2000年以降停滞。Siデバイスの追い上げ。

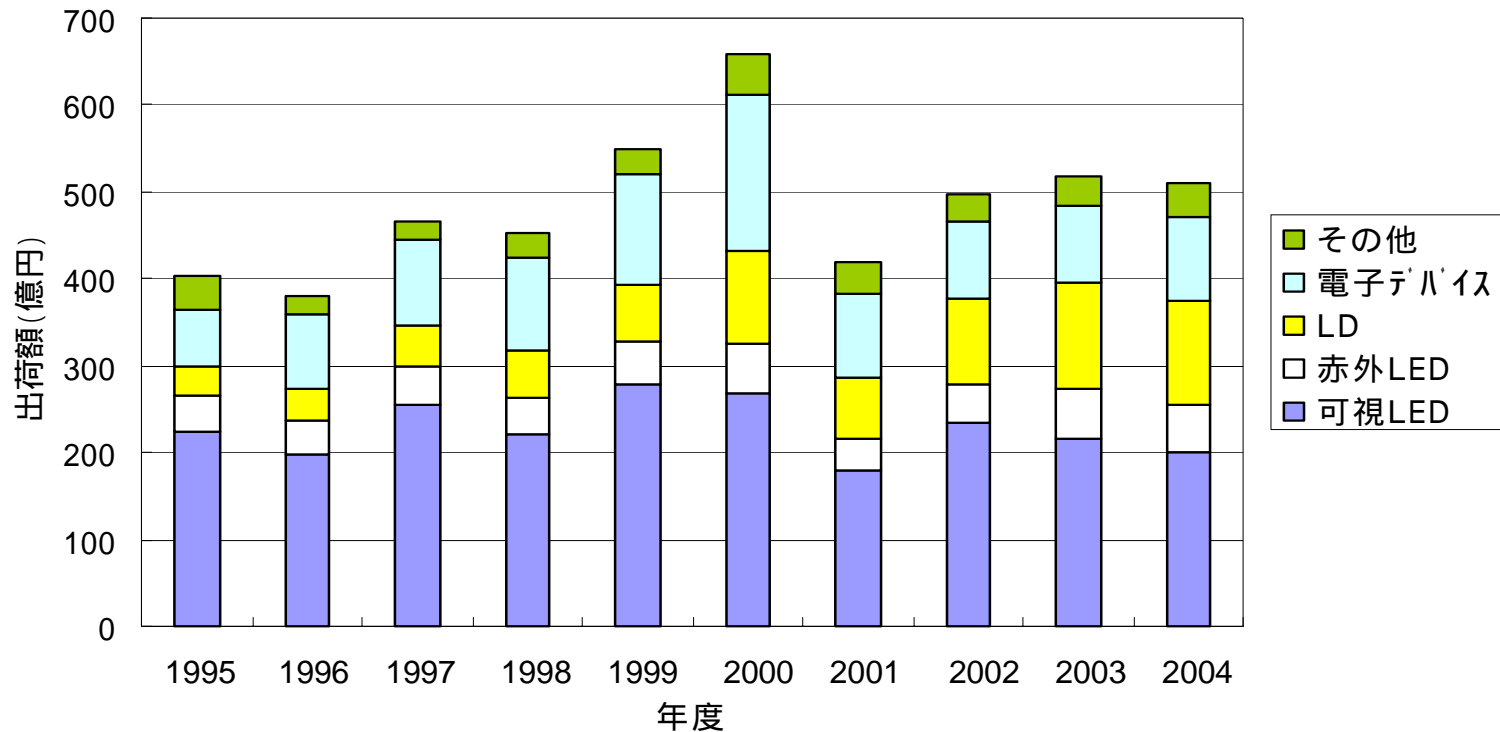


2004年の結晶別生産比率

出典: JAMS-CS、工業レアメタル

国内化合物半導体(SiC以外)用途別出荷額

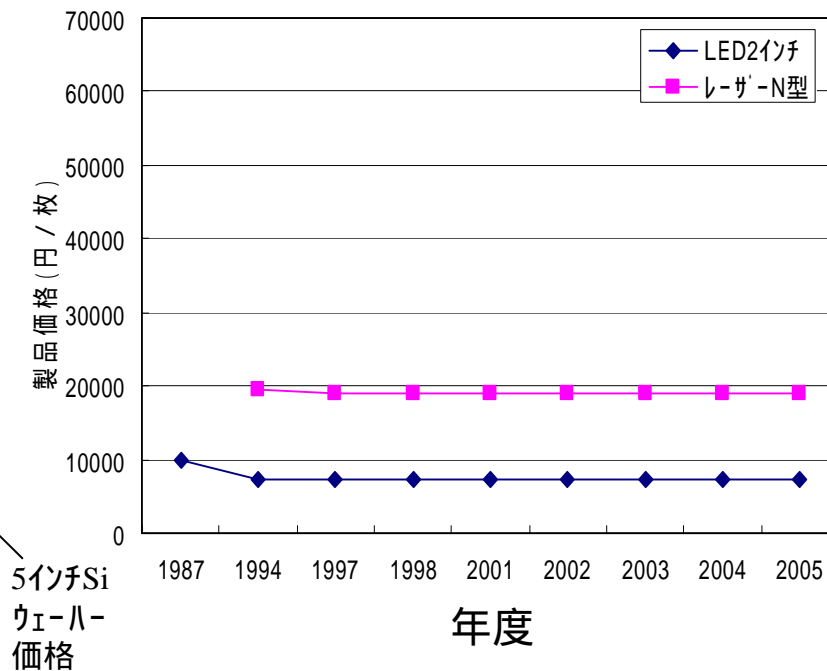
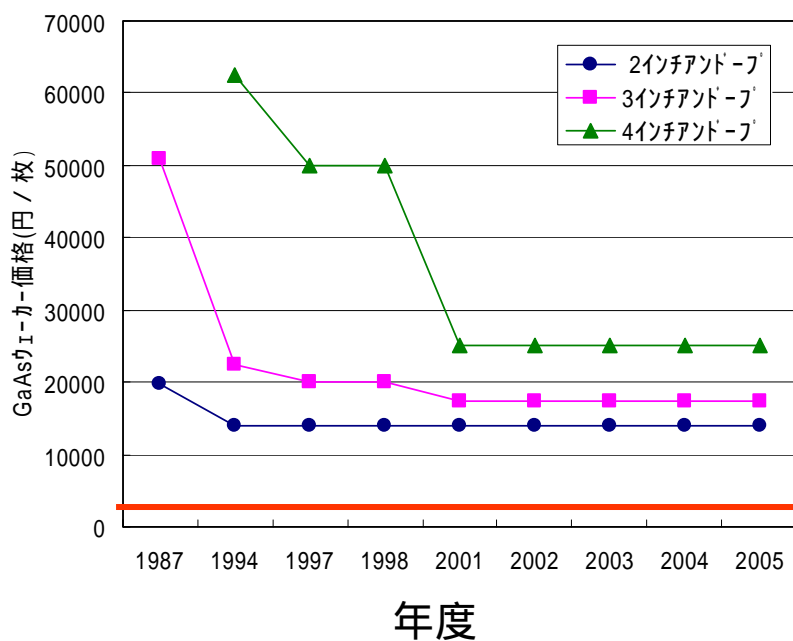
- ・用途として、可視LEDが約40%を占める。LD向が増大中。
- ・ITバブル時はGaAs系LEDと電子デバイスが伸びたが、以後は停滞中。



出典: JAMS-CS

製品価格動向 - 1

GaAsのウェーハ-価格は2001年に低下し、最近の価格は安定。
5インチSiウェーハ-(約2200円/枚)に比べ10倍高価。

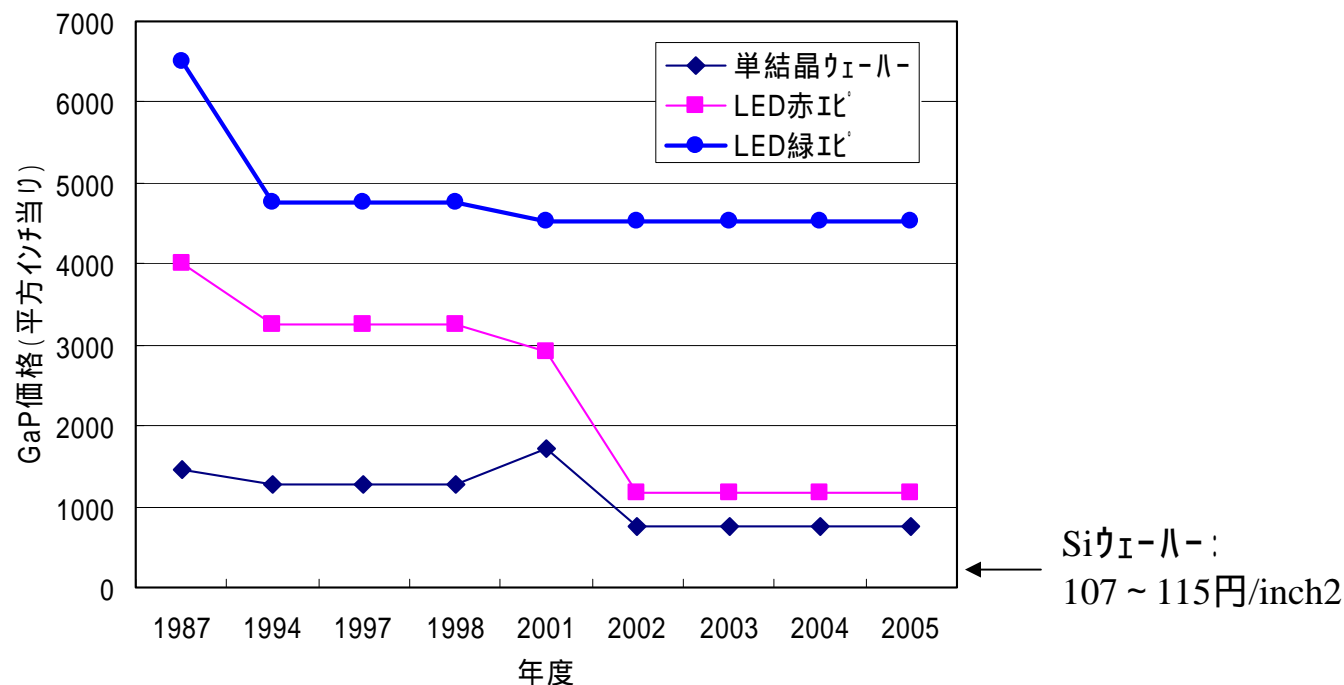


GaAs製品価格

出典:工業レアタル

製品価格動向 - 2

2002年からGaP単結晶ウェーハ-及びLED赤色ウェーハ-が低価格化しているが、まだSiと比べ約10倍高価である。



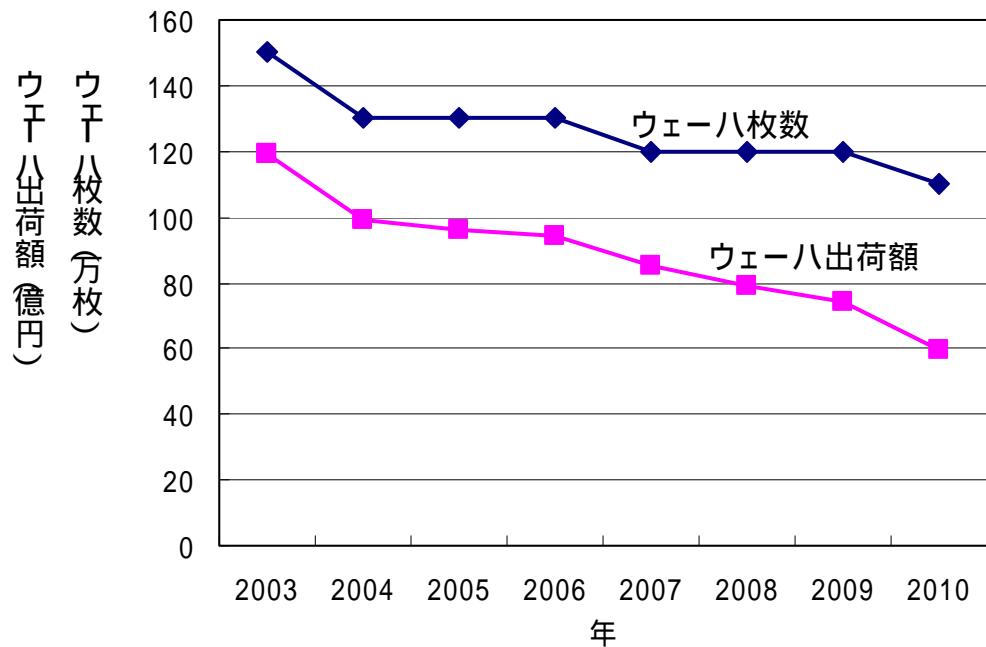
GaP製品価格

出典:工業レアタル

製品価格動向 - 3

GaPの価格動向予測

・GaPはウェーハ枚数、出荷額ともに低減傾向と予測されている。



出典:富士キメラ総研「2006有望電子材料調査総覧」

GaAsウェーハー製品付加価値

・付加価値は高いが、製造が難しく高コスト

付加価値 (GaAsアンドーフウェーハ-)

	2005価格 (円/枚)	2005原料費(円/枚)	付加価値 (円/枚)
2インチ	14,000	150	13,850
3インチ	17,500	621	16,879
4インチ	25,000	1,069	23,931

(工業レアメタルデータから算出)

SiC単結晶の物性特徴と適用製品

区分	物性特徴		適用用途	メリット
基本特性	定圧で液相存在なし		高温動作デバイス	冷却機構の簡素化
	2000 以上の高温で昇華			
Siとの比較	バンドギャップ エネルギー	2倍以上	パワーデバイス SBD、MOS-FET	超低損失 素子の薄型化
	熱伝導度	3倍		
	絶縁破壊電界	10倍	高周波デバイス MES-FET、SIT	高速動作 大電流動作
	電子飽和速度	2倍以上		
GaN/LED用 基板	GaNと格子定数差小		GaN用基板	高放熱化でサファイヤ基板よりも有利
	導電性あり			
ワイドギャップ 半導体	P型、n型の価電子制御が容易			デバイス化進展
	Siと同様に熱酸化によるSi酸化膜が得られる			
	導電性、絶縁性のウェーハが市販			
	3インチウェーハが市販			

出典：「成長始めるSiC単結晶市場の現状と
将来展望2004年版」矢野経済研究所

SiC単結晶市場予測(LED以外)

- ・2010年より、自動車用途(ランプ、ハイブリッド車)に大量に使用されることを前提で、金額は10倍、数量は100倍に市場拡大と予想。
- ・SiCウェーハ-の大幅な低コスト化(1/10化)が可能かがポイント。
- ・インバーター用に検討が進んでいる。

	2003	2005	2010	2020
金額(億円)	14	19	251	614
数量(千枚)	4.8	7	836	3,069
サイズ	2、3インチ	2、3インチ	4インチ	4、5インチ
単価(万円/枚)	30	27	3	2

矢野経済研究所推定

SiC単結晶参入メーカーの事業化状況

- ・先行的に事業化した米国クリー社が、市場において高シェアを獲得。
- ・クリー社以外にも多くの会社が事業化に向け開発を行っているところ。

社名	状況	事業内容		
		単結晶	エピウェーハ	デバイス
クリー(米)	85～90%シェア 売上353億円('04)	2、3インチ		
シクスオン	売上1億円('04)	2インチ		
新日鐵	試作中	2、3インチ		
HOYAアドバンスセミコンダクタテクノロジーズ	試作中。立方晶SiC	2～6インチ		
サイクリスタル(独)	量産販売(数1000枚/月)	2インチ		
ブリジストン	サンプル出荷	2インチ		

4 . GaNの需要動向

GaNの市場動向

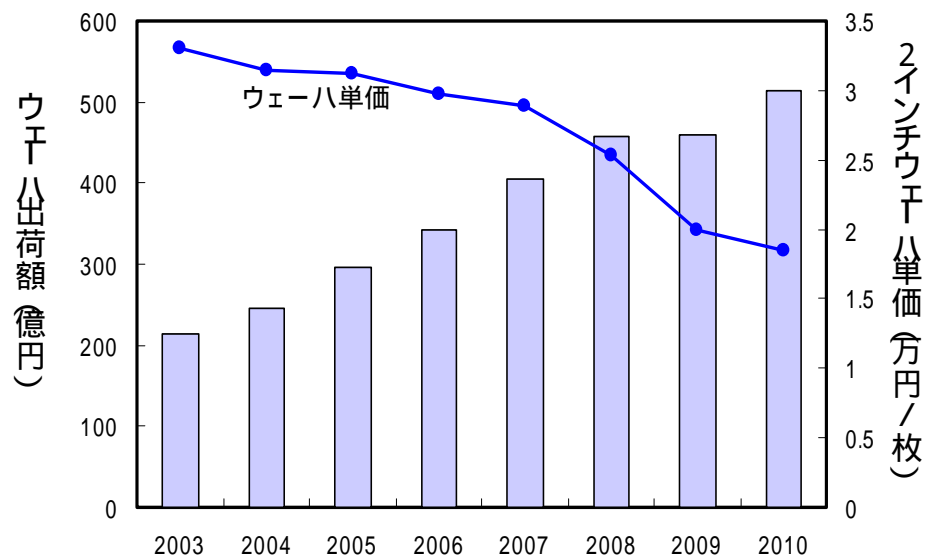
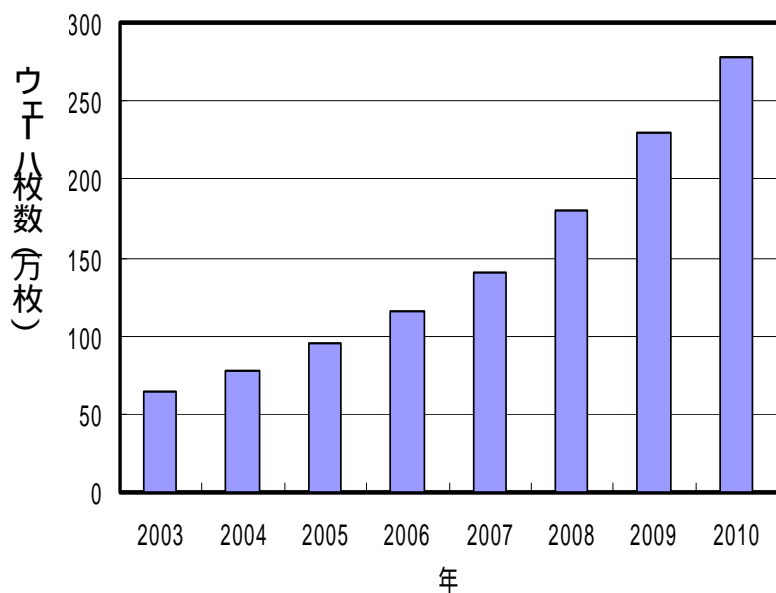
- ・GaN基デバイスのメリット・用途は非常に広範である。
- ・184社、293の大学・研究所がGaNの生産・開発・研究を実施中(2003)。
- ・2002年：92億円、2003年：155億円、2004年：207億円の世界市場。

デバイス	利用する特性	メリット	適用
LD	広いバンドギャップ、発光	小ビーム径、高密度ストレージ	CD / DVDリーダー レーザープリンター
青・緑LED	広いバンドギャップ、発光		バックライト、信号、ディスプレイ 自動車部品
白色LED	広いバンドギャップ、発光	長寿命、高効率	一般照明、カラーディスプレイ
メモリーデバイス	広いバンドギャップ	耐熱、小サイズ化	航空機・自動車エンジン
RF パワーアンプ	広いバンドギャップ 高熱伝導率		携帯電話基地局用アンプ
パワースイッチ	広いバンドギャップ、高熱伝導率、高絶縁破壊電界	耐高圧・耐熱	パワーグリッド
軍事及び宇宙用電子部品	広いバンドギャップ	放射耐性、高効率	ミサイルトランスミッター、衛星用アンプ

GaN(エピ)の市場予測(サファイア、SiC基板上)

- ・現状250億円程度の日本市場であり、2010年には500億円の市場となる予想。
- ・ウェーハ価格は年6%程度低下の予想。

GaN(エピ)の出荷量と推移

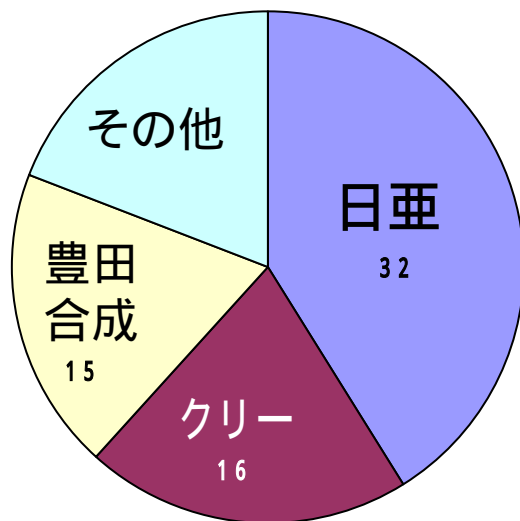


出典:富士キメラ総研「2006有望電子材料調査総覧」

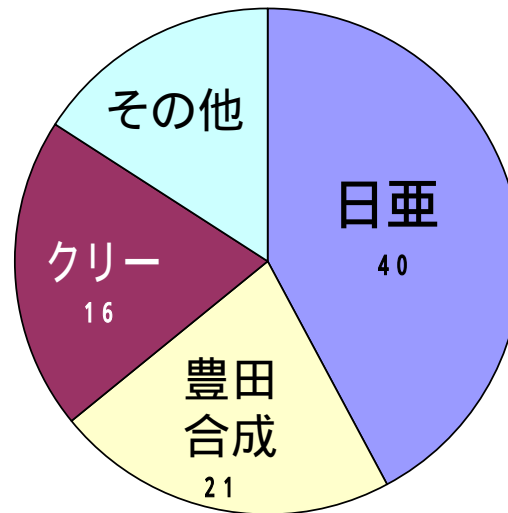
GaN(エピ)の販売シェア(サファイア、SiC基板上)

- ・日亜化学が白色LED用に販売し、シェアトップ。
- ・豊田合成は2005年には第2位となったとの予測。

2004年(78万枚)



2005年(95万枚)

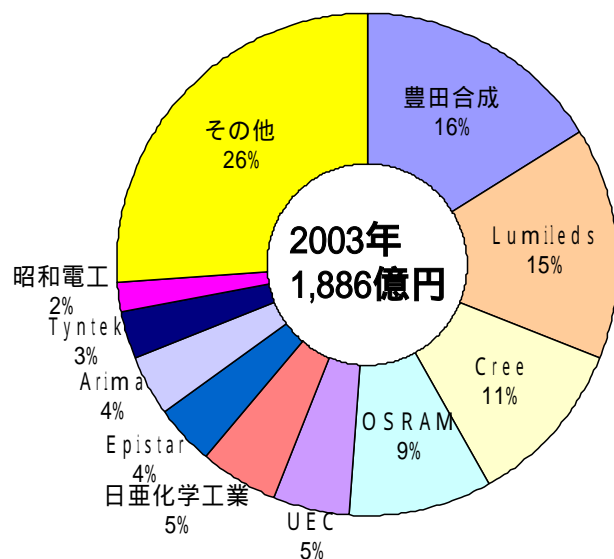


出典:富士キメラ総研「2006有望電子材料調査総覧」

LEDランプの市場動向

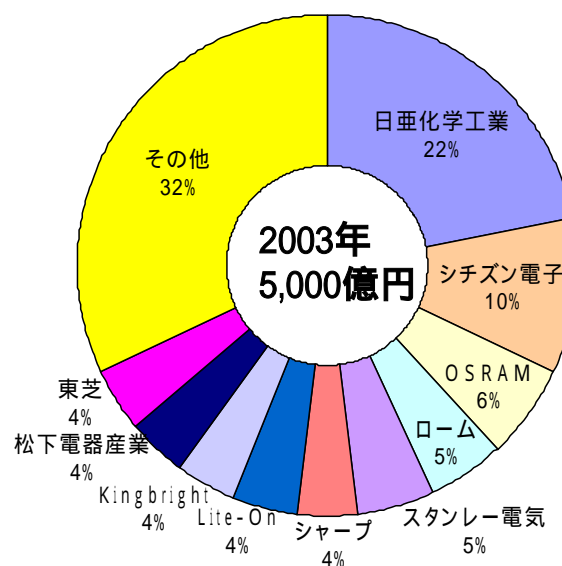
- ・世界のLEDランプの販売額は2000年2700億円、2002年3800億円、2003年5000億円、**2004年6500億円**と拡大中。日亜・シチズンGr*1が高シェア。
- ・用途として、携帯電話用を白色LED中心に高輝度LEDが拡大。

世界LEDエピ・素子メーカーシェア



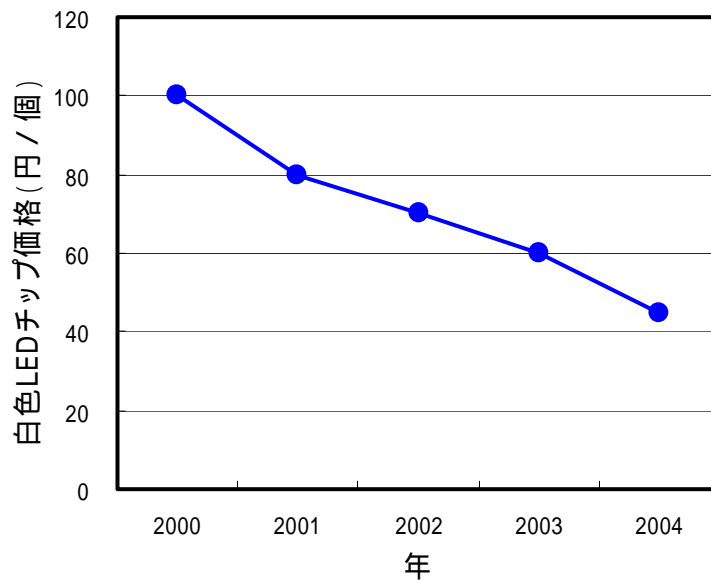
世界LEDランプシェア

*1: 2002年に日亜よりライセンス

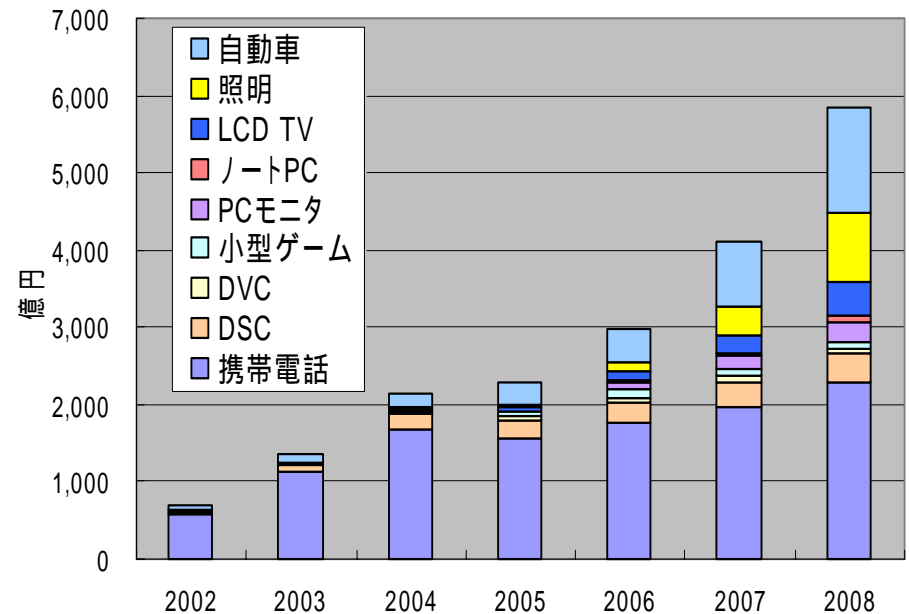


世界の電子機器別白色LED市場予測(金額)

- ・2002年～2004年にかけて、携帯電話用(バックライト、フロントライト、搭載ディスプレイ光源)に需要が急拡大。LEDチップ価格は低下。現状は携帯用には飽和の状況。
- ・**今後は自動車用照明(室内、前後ライト)、一般照明への適用が進む予想。**



出典:シーエムシー出版「白色LEDの市場」



(SOURCE:JEITA/DATA GARAGE)

主な白色LEDの開発企業と白色実現手法

自動車用途及び一般照明用途への拡大を目指し、各社種々の方法で白色LEDを開発中

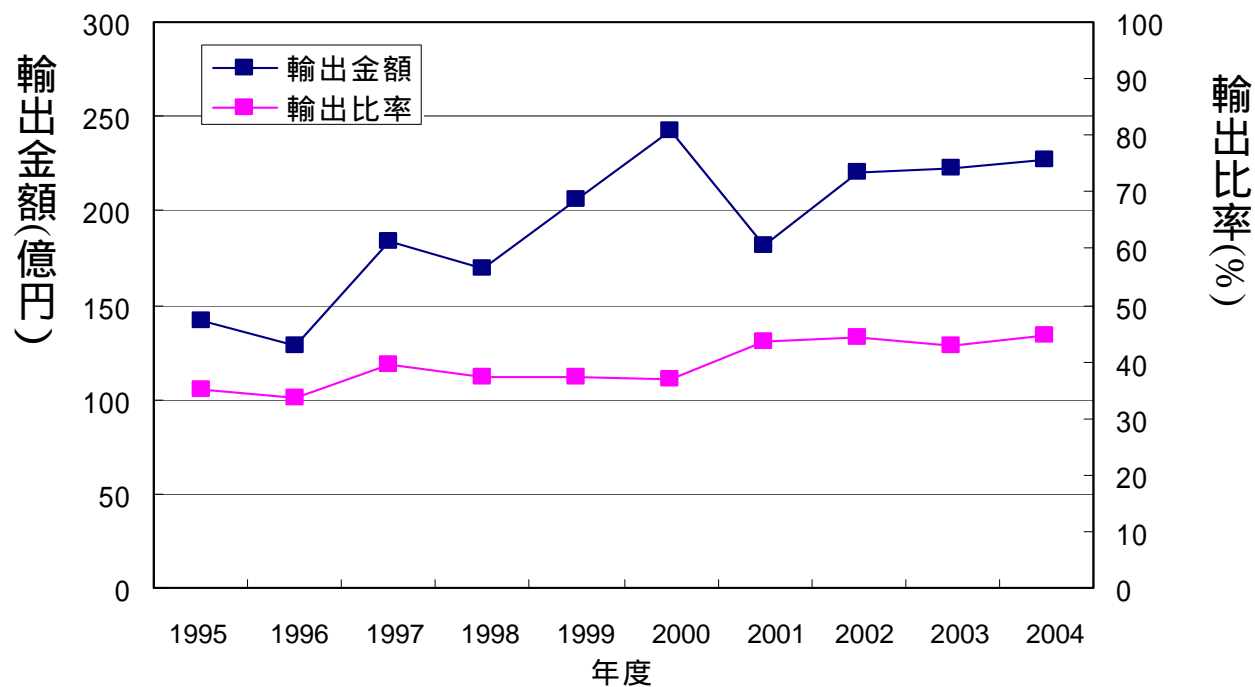
主なメーカー	発光源	蛍光材料	LED材料	LEDの基板	白色実現方法
日亜化学	青色LED	YAG系 蛍光体	InGaN	サファイア	青色光で蛍光体を励起 青と黄色で白色光を実現
豊田合成 / 東芝	紫外線 LED	RGB 蛍光体	GaN系	サファイア	紫外光でRGB 蛍光体を励起 蛍光灯方式
住友電工	青色LED	(蛍光体なし)	ZnSe	ZnSe基板	青色光で基板を励起 緑～赤色光を得て白色光を実現
シーメンス / クラー	青色LED	RGB 蛍光体	InGaN	SiC基板	青色光でRGB 蛍光体を励起

出典: WEB情報

5. 貿易動向

化合物半導体(SiC以外)輸出額の推移

輸出金額・輸出比率は増加傾向。生産量のほぼ50%が輸出される。



出典: JAMS-CS

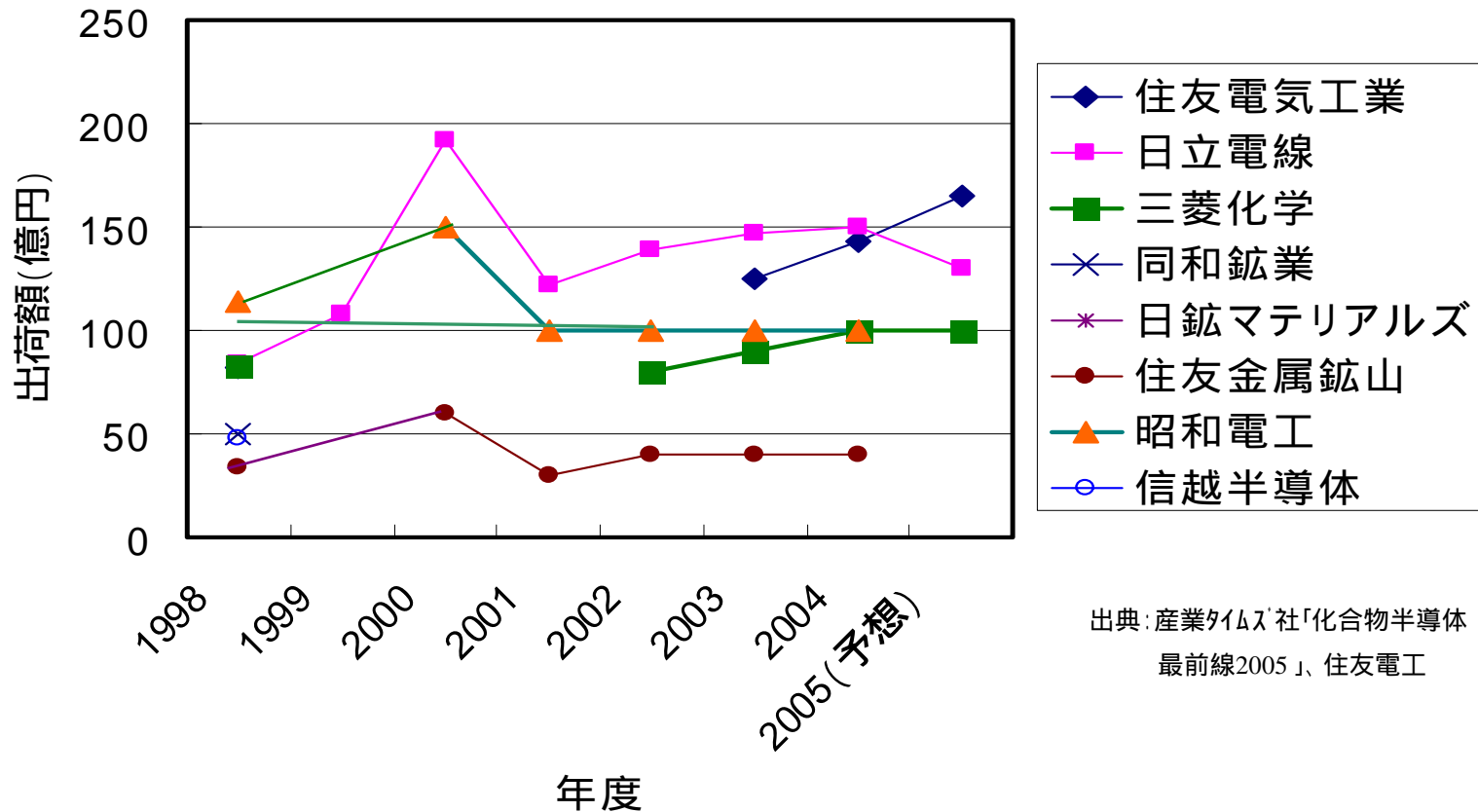
国内化合物半導体材料メーカーの会社規模

- ・国内では化合物半導体材料メーカーは8社。専門メーカーはなく、大会社の一部門。基板・エピ・チップを製造しているメーカーが多い。
- ・日亜化学がLEDで大きな売上をあげているのに対し、材料メーカーの売上は少ない。

	メーカー	資本金 (億円)	売上 / 2004年(億円)		従業員数	本業の業種	化合物半導体品種		
			単独全社	(化合物半導体)	単独(連結)		基板	エピタキシャルウェーハ	チップ
国内	住友電気工業	962	8,333	143	3990(連結104472)	非鉄金属			
	日立電線	259	2,584	150	4069(連結15045)	非鉄金属			
	三菱化学(三菱ケミカルホールディングス)	1,451	21,895	100	4994(連結33261)	化学			
	同和鉱業	364	2,170	-	960(連結3305)	非鉄金属			
	日鉱マテリアルズ	140	890	-	1600	非鉄金属			
	住友金属鉱山	883	3,546	40	2058(連結8646)	非鉄金属			
	昭和電工	1,104	5,258	100	4074(連結11040)	化学			
	信越半導体	100	2,022	-	1450	化学			
	日亜化学工業	140	1810	1540(LED)	3300	化学			
豊田合成	280	2982	300(LED)	5348	化学				

化合物半導体材料メーカー各社別出荷額

- ・化合物半導体材料の売上は各社ともここ数年ほとんど変化なし。多くても150億円程度。
- ・市場拡大が望めない状況で、8社で競合。



化合物半導体基板の製造メーカーと材質、シェア

- ・GaAs基板は住友電工と日立電線での2社で世界シェア30%以上。
- ・GaP基板は住友金属鉱山、信越半導体、昭和電工で世界市場を独占。
- ・InP基板は住友電工、日鉱マテリアルズ、昭和電工で世界シェア70%以上。

メーカー	GaAs	GaP	InP	GaN	その他
住友電気工業					
日立電線					
三菱化学					
同和鉱業					
日鉱マテリアルズ					CdTe
住友金属鉱山					
昭和電工					
信越半導体					SiC
日亜化学					
豊田合成					

出典：工業所有権情報・研修館 特許流通支援チャート等

主要事業所

メーカー	材料工場
住友電気工業	住電半導体材料(株):神戸市 伊丹製作所(兵庫県伊丹市)
日立電線	高砂工場(茨城県日立市)
三菱化学 (三菱ケミカルホールディングス)	筑波事業所(茨城県牛久市)
同和鋳業	(株)同和半導体:秋田市
日鉱マテリアルズ	磯原工場(茨城県華川町)、 戸田工場(埼玉県戸田市)
住友金属鋳山	電子事業本部:青梅市、 国富事業所(北海道共和町)
昭和電工	秩父工場(埼玉県秩父市)
信越半導体	磯部工場(群馬県安中市)
日亜化学工業	本社工場(徳島県阿南市)
豊田合成	平和町工場(愛知県中島郡平和町)

世界の化合物半導体材料メーカー

	GaAs									GaP				InP			GaN
	基板			エビ						LED チップ	基板			エビ		エビ and/or LED チップ	
	HB/HGF	VB/VGF	LEC	VPE	LPE	MOCVD		MBE	LEC		VPE	LPE	LED チップ	LED	VPE		MO CVD
					電子 デバイス	オプト デバイス											
(USA)																	
HP																*3	
CSI																	
AXT																	
Airton																	
M/A COM																	
Crystacomm																	
Cree																*4	
Spire																	
KOPIN																	
QED																	
Uniroyal Tech.																	
GELcore																	
(ヨーロッパ)																	
Osram																	
Vishay																	
Picoqiga																	
WT																	
Freiberger																	
EPI																	
LumiLeds																	
(台湾)																	
Opio Tech																	
Lite-on																	
TYNTEK																	
High Light																	
UEC																	
Epistar																	
Procomp																	
(韓国)																	
Optel																	
Samsung																	
LPE																	
(凡例)	主力商品 中量、大量生産 少量生産 or 開発中(研究は、含まず。)																
	Osram Opto Semiconductors: Siemens オプト部門が分社化 (OsramとInfineon Tech.の合併会社) Vishay: 旧TEMIC WT: Wafer Technology 旧MCP																
	GELcore: GE LightingとEmcoreの合併会社 LumiLeds: Philips LightingとHPの合併会社 QEDとEPI(UK)は合併予定																
	*1 CSIより輸入販売 *2 OEM *3 サファイア基板 *4 SiC基板																

出典:工業レアタル

世界の化合物半導体材料メーカーの会社規模

- ・世界の化合物半導体メーカーは専門メーカーが多い。
- ・Cree社は売上額増加が著しい(1998年:51億円、2003年:265億円)。
LED用が大部分。パワーデバイス用に検討中。

\$=115円、1-0=140円、ボンド=200円

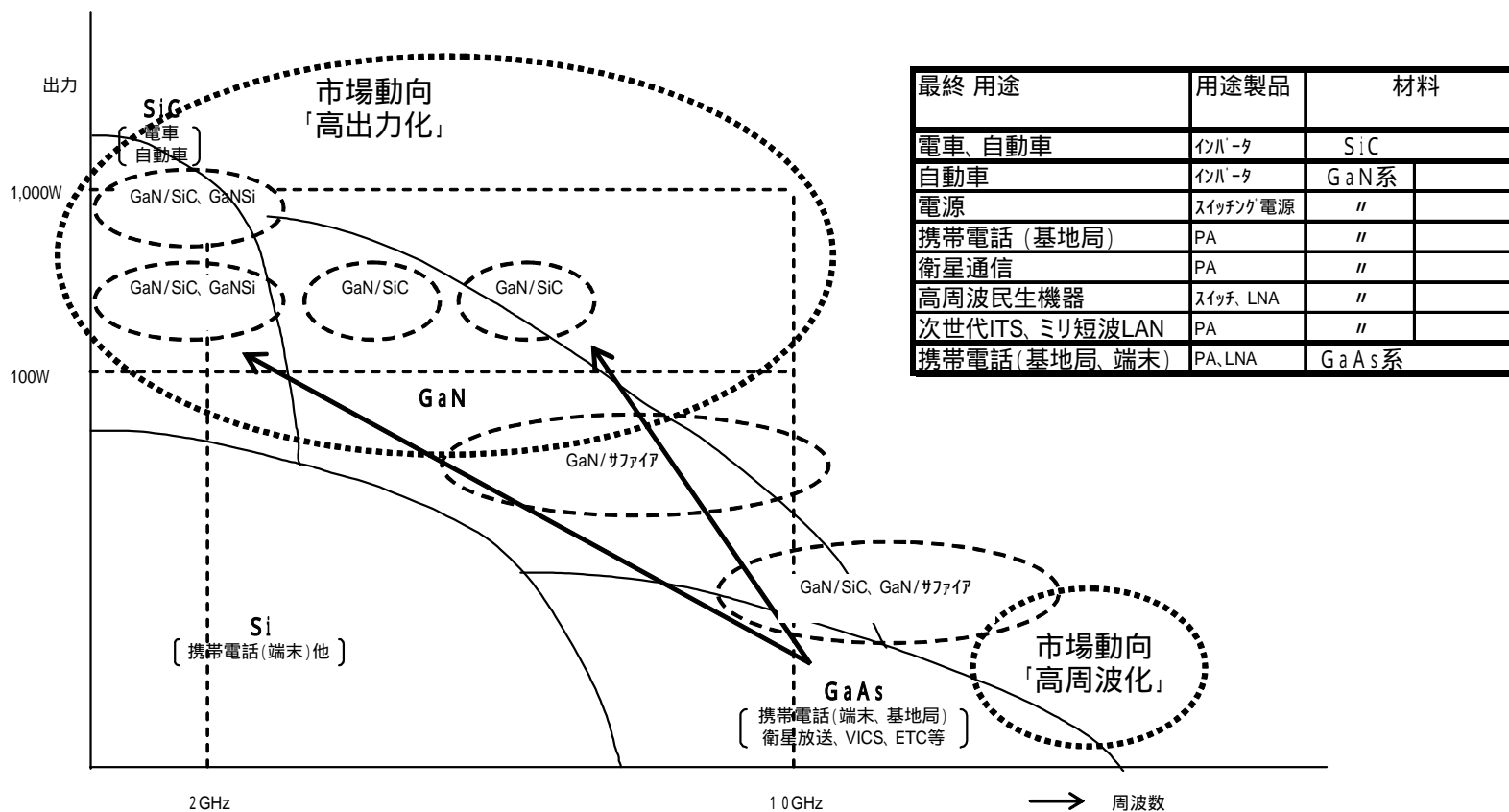
	メーカー	売上 / 2005年(億円)		従業員数	本業の業種	化合物半導体品種		
		単独全社	(化合物半導体)	単独(連結)		基板	エピタキシャルウェーハ	チップ
世界	Cree(米)	447	447		専門			
	AXT(米)	41	41		専門			
	M/A COM(米)			3000	エレクトロニクス			
	KOPIN(米)	96			エレクトロニクス	-		
	Wafer Technology(英)	42			専門			
	Freiberger Compound Materials(独)				専門			

出典:各社ホームページ

7. 技術動向

(1) 電子デバイス、パワーデバイスの最近の動向

- ・「高周波化」「高出力化」が技術動向。
- ・対応として、GaN、SiCのワイドギャップ半導体に研究開発が注力。



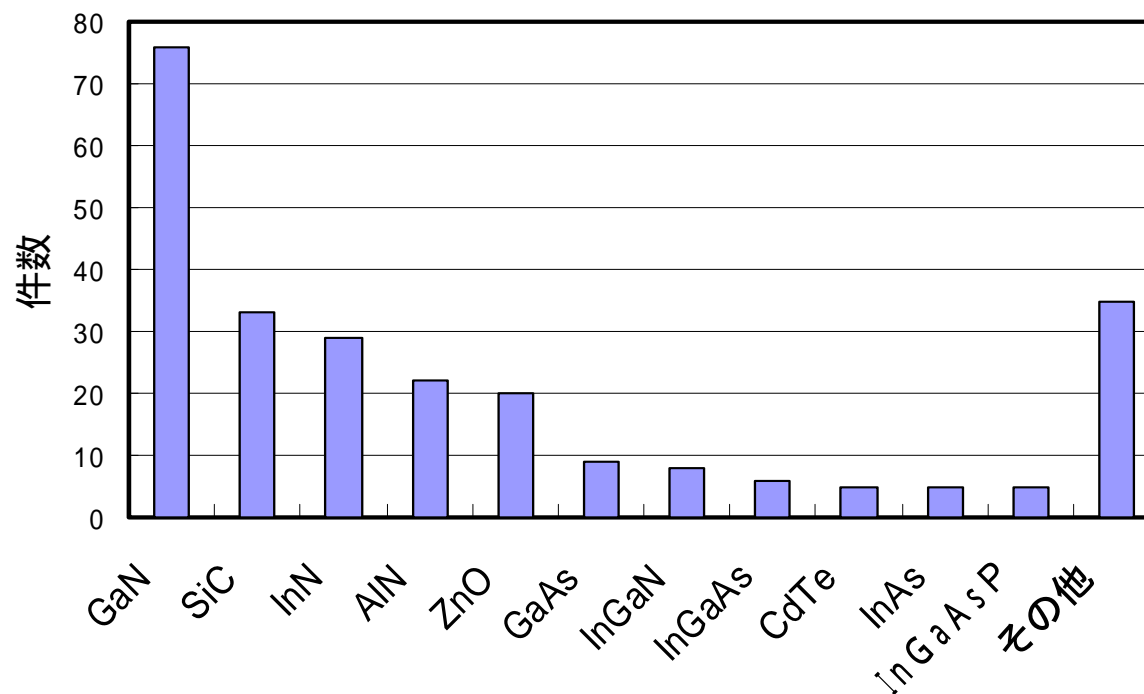
出典: 同和鉱業

(2)学会報告から見た最近の化合物半導体に係わる技術課題

学会報告内容の分類結果 - 1

・結晶成長(単結晶・成膜)分野の主研究対象はGaN、SiC、InN、AlN、ZnOであり、特にGaN、SiCの報告が多い。今後の発展方向と一致する。

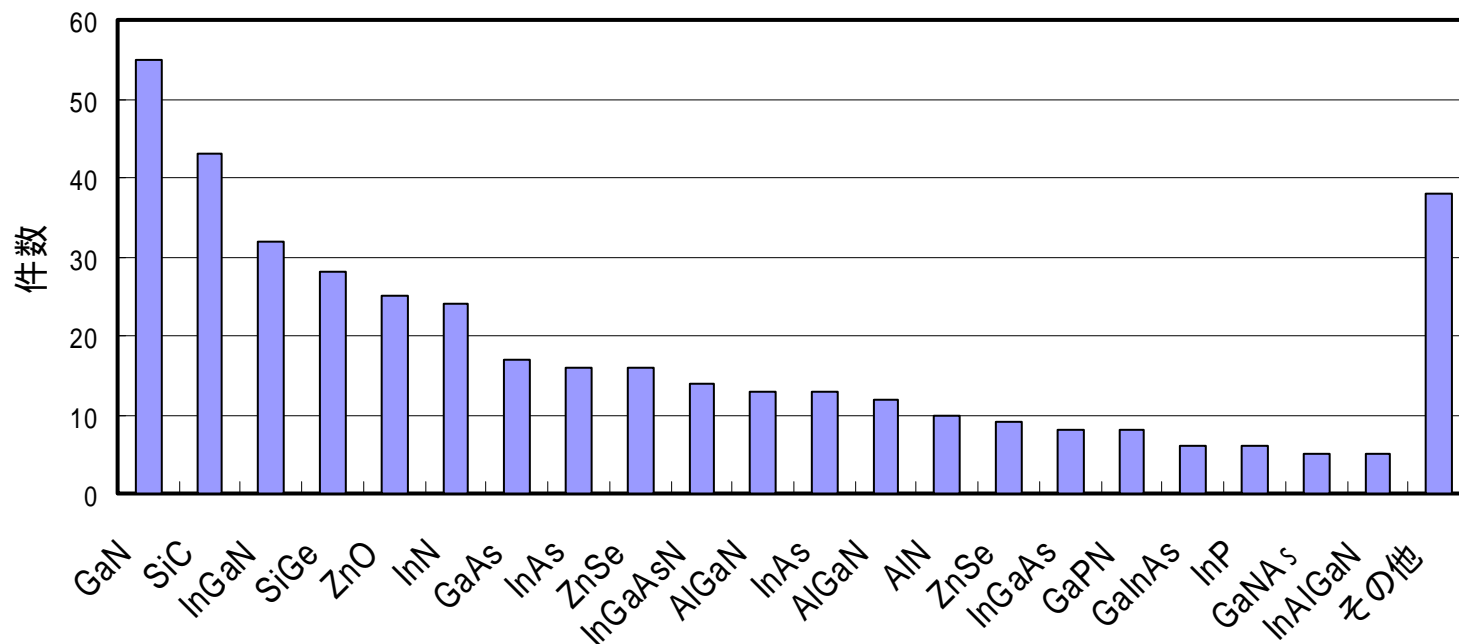
結晶成長分野



学会報告内容の分類結果 - 2

- ・特性評価の主研究対象はGaN、SiC、InGaN、SiGe、ZnO、InNが多く、特にGaNとSiCの報告が多い。今後の発展方向と一致してする。

特性評価分野分類



化合物半導体に係わる学会における技術課題

最先端SiGe技術とそのデバイスへの応用

AlN基板製造技術

GaN系光・電子デバイスの開発

・AlGaN/GaN HEMT用エピタキシャル成長技術

再現性、評価技術、安価大量生産技術

・GaN/Siエピタキシャル成長技術

SiC技術

・半絶縁性SiC基板製造技術 ・SiC単結晶成長技術

・SiCエピタキシャル成長技術

LEDの高効率化技術

結晶評価技術

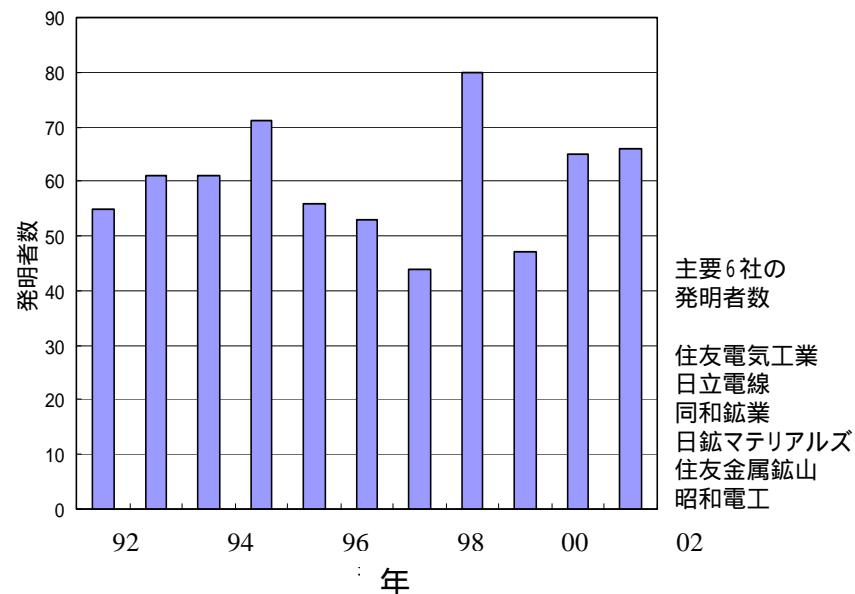
(3)化合物半導体特許動向 - 出願件数推移 -

- ・最近5年間の化合物半導体材料メーカーの化合物半導体全体の特許件数は増加傾向にある。
- ・日立電線・豊田合成の特許数が多い。
- ・化合物半導体基板に係わる研究者は国内で約40～70名である。

最近5年間の化合物半導体の発明件数推移

	2001	2002	2003	2004	2005	計
住友電気工業(株)	9	9	26	30	30	104
日立電線(株)	46	36	30	58	38	208
三菱化学(株)	8	7	2	3	7	27
同和鋳業(株)	1	2	3	2	3	11
(株)日鋳マテリアルズ	5	8	15	9	3	40
住友金属鋳山(株)	1	0	4	2	2	9
昭和電工(株)	11	5	11	17	29	73
信越半導体(株)	1	5	9	32	36	83
日亜化学工業(株)	10	19	20	8	8	65
豊田合成(株)	28	31	18	29	19	125
	120	122	138	190	175	745

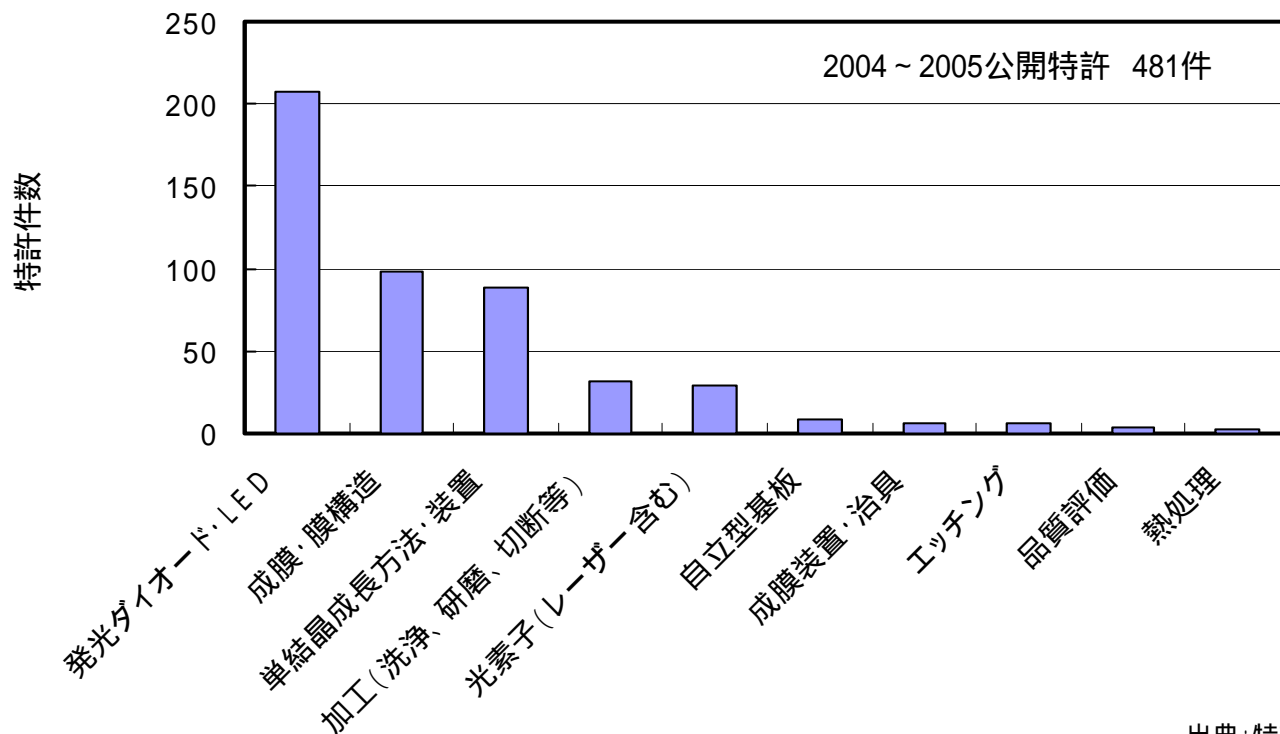
半導体基板に係わる発明者数推移



特許から見た化合物半導体に係わる技術課題

JAMS-CS会員8社 + 日亜化学 + 豊田合成の特許分類

- ・発明の内容は約半分がLED関連で発光効率向上を目的。
- ・成膜・膜構造及び単結晶成長技術に関する発明が多い。



出典:特許電子図書館DB

JAMS-CS会員8社 + 日亜化学 + 豊田合成の開発注力項目一覧

- ・住友電工と日立電線は単結晶成長技術、昭和電工、信越、日亜、豊田合成はLED技術に注力しており、棲み分けされている。
- ・特許から、技術課題としてLED技術、エピ技術、単結晶製造技術が大きな課題と推察される。

内容	住電	日立	三菱	同和	日鉱	住金	昭和	信越	日亜	豊田	件数
発光ダイオード・LED	15	12	16	1	1		39	69	18	37	208
成膜・膜構造	19	36	8	1	3		5	7	2	17	98
単結晶成長方法・装置	21	53		4	5	1	4				88
加工(洗浄、研磨、切断等)	6	10	1	1	1	3	3	2	1	3	31
光素子(レーザー含む)	20	2						2	2	3	29
自立型基板					1					7	8
成膜装置・治具		6									6
エッチング	4		2								6
品質評価	1	3									4
熱処理	1				2						3
	87	122	27	7	13	4	51	80	23	67	481

化合物半導体基板技術の課題

- ・公開特許の内容から、化合物半導体の基板に関し、結晶欠陥防止、品質安定化、コストダウンが技術課題(ニーズ)と考えられる。

課題	解決手段
結晶欠陥発生防止技術	<ul style="list-style-type: none">・種結晶、下地基板の改良・結晶成長条件適正化・結晶成長装置の改良
エピ技術	<ul style="list-style-type: none">・高平坦性の確保技術・キャリア制御技術
品質安定化	<ul style="list-style-type: none">・熱処理条件の適正化・るつぼの改良・加工方法の改善
生産性向上 コストダウン	<ul style="list-style-type: none">・結晶成長装置の改良・原料、メルトの改良・成長結晶の形状を改良

(4)内外プロジェクト動向

日本政府支援化合物半導体関連プロジェクト

- ・SiC、GaNワイドギャップ半導体関連のプログラムが主体として推進。
- ・プロジェクト予算は総額60億円のもある。
- ・AlN窒化物半導体のプログラムも開始された。

	テーマ名	期間	プロジェクト 予算(億円)
NEDO	高効率電光変換化合物半導体開発(21世紀のあかり計画) (GaN白色LED)	1998/2002	総額66
	窒化物半導体を用いた低消費電力型高周波デバイスの 開発	2002/2006	総額20.6
	溶液成長法による高品質SiC単結晶育成技術の開発	2002/2007	総額3.7
	超低損失電力素子技術開発 基盤技術開発 (SiC、GaN)	1998/2002	総額60
	移動体通信及びセンシング用ナイトライド系半導体デバイス の開発	1999/2001	総額2.8
	高効率 UV発光素子半導体開発プロジェクト (AlN半導体)	2004/2006	総額8.8

DARPA (米国防総省) の高周波、化合物半導体関連プログラム

- ・ SiC、GaN関連のプログラムが多く見られる(黄色ゾーン)。
- ・ 研究開発予算は総額50～80億円/件で日本のプロジェクトと差はないが、多くのプログラムが同時進行。

プロジェクト	プログラム名	内容	BUDGET (Fiscal Year: M\$)				総額(M\$)	総額(億円)
			2002	2003	2004	2005		
Basic Research (BA1)								
ES-01	Semiconductor Technology Focus	半導体基礎研究、高度集積回路	5.2	12.1	8.8	5.9	32.0	36.8
	Terahertz Technology	0.2-10 THz、短距離探知、短距離通信	1.9	0.0	0.0	0.0	1.9	2.2
	MS-01	Spin Dependent Materials and Devices	高速デバイス(Spin Tr.)、量子情報処理通信	14.6	18.6	12.3	10.0	55.5
Applied Research (BA2)								
ST-24	Next Generation Optical Networks	光-電子-光変換、10Gbps for end user	0.0	2.0	8.7	14.5	25.2	29.0
ST-28	Human Identification at a Distance	Low Power Millimeter Wave Radar System	16.7	11.1	4.3	0.0	32.1	36.9
TT-04	Networking Extreme Environments	UWB system、UWBデバイス	0.0	7.2	12.1	10.3	29.6	34.0
MPT-02	Technology Efficient, Agile Mixed Signal Microsystems (TEAM)	RF、CMOS、SoC	7.4	12.3	16.9	16.7	53.3	53.3
MPT-02	Technology for Frequency Agile Digitally Synthesized Transmitters (TFAST)	InP-DHBT、<0.25micron技術、回路動作>100GHz、集積度>20k Tr	0.0	21.3	21.1	19.0	61.4	61.4
MPT-02	Chip-to-Chip Optical Interconnects	High Speed, Low Power Optical Transmitter/Receivers	0.0	0.0	3.0	5.0	8.0	8.0
MPT-02	High Frequency Wide Band Gap Semiconductor Electronics Technology	SiC RFデバイス、SiCウエハ	21.2	20.4	20.0	16.0	77.6	77.6
MPT-02	High Power Wide Band Gap Semiconductor Electronics Technology	メガワットクラスSiCパワーデバイス	12.0	8.0	12.1	14.0	46.1	46.1
MPT-08	Antimonide Based Compound Semiconductor (ABCS)	Low Power High Frequency Circuits and IR Sources、InSbセンサーなど	11.0	14.9	9.3	0.0	35.2	35.2
Advanced Technology Development (BA3)								
MT-04	Semiconductor Ultraviolet Optical Sources (SUVOS)	AlGaIn、High Conductivity p-type Material	11.6	18.3	15.6	10.0	55.5	55.5
MT-15	Chip Scale Wavelength Division Multiplexing (WDM)	WDM用新材料、素子、sub-System	10.0	18.4	18.8	14.8	62.0	62.0
MT-15	Robust Sensors	SiC GaN、Diamond、MEMS技術	0.0	0.0	4.0	6.0	10.0	11.5
MT-15	Submillimeter Wave Imaging Technology	マイクロアンテナ、InP Source	0.0	0.0	5.0	8.9	13.9	16.0
MT-15	Ultra Wide Band Array Antenna		0.0	0.0	9.2	10.3	19.5	22.4

(Fiscal Year (FY)2004/FY2005 Biennial Budget Estimate より)

出典: 米国防総省高等研究計画局

8. 化合物半導体製造設備メーカーの状況

世界の化合物半導体製造設備メーカー - とエピ方式

- ・単結晶製造装置は基板メーカーの自社抱え込みで、装置メーカーは見られない。シリコンウェーハメーカーと同じ状況。
- ・エピ製造装置メーカーは海外メーカーがほぼ独占。国内に対抗メーカーほとんどなく、エピ比率が高い状況で海外勢のキャッチアップの可能性。

エピ方式	用途	装置メーカー
LPE	GaP可視光LED	-
HVPE	GaP可視光LED	-
MOCVD	GaAs電子デバイス、4元系LED 赤色半導体レーザー InP電子デバイス、通信用レーザー GaNレーザー、電子デバイス、青色LED	ビーコンスツルメンツ(米) アイクストロン(独) トーマスワツ(独) 太陽日酸(日)
MBE	GaAs電子デバイス、4元系LED 赤色半導体レーザー InP電子デバイス、通信用レーザー	ビーコンスツルメンツ(米) オックスフォードインスツルメンツ(英) リパール(仏)

化合物半導体製造設備メーカーの販売額

- ・全世界で化合物半導体装置(エピ用)の市場は約500億円程度。
- ・海外メーカーが有力。国内エピメーカーは弱体。

装置メーカーの売上

\$=115円、1-μ=140円、ボンド=200円

	会社名	装置販売額
MOCVD	ピーコインストルメンツ(米)	108億円(MBE含む)(2004)
	アイクストロン(独)	196億円(国内20億円)(2004)
	トーマスワソ(独)	35億円(2000)
	太陽日酸(日)	37億円(2004)
MBE	ピーコインストルメンツ(米)	108億円(MBE含む)(2004)
	オックスフォードインストルメンツ(英)	(全社294億円)(2004)
	リバー(仏)	19億円(2004)

出典:産業タイムズ社「化合物半導体最前線2005」
各社ホームページ&annual report

海外エピ装置メーカーの戦略

・海外エピ装置メーカーは量産用GaN向装置の拡販に注力。

商社	メーカー	状況	戦略
丸文	アイクストロン	<ul style="list-style-type: none"> ・化合物半導体装置の最大メーカー ・大型MOCVD注力。横型リアクター式 ・LED用アジア(台湾、韓国)向(80%) ・CS装置売上:約180億円(2005) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ GaN高輝度LED、次世代DVD用青紫色LD装置の拡販
	エピグレス	<ul style="list-style-type: none"> ・ SiCエピCVD量産機製造 	<ul style="list-style-type: none"> ・ SiCエピ装置日本向に販売
	トーマススワン	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究用MOCVD。縦型リアクター式 	<ul style="list-style-type: none"> ・ GaNテラヘルツ、GaInAsレーザー-InP高周波テラヘルツ用への拡販
伯東	ビーコインストルメンツ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大型MOCVD注力。縦型リアクター式 ・ GaAsLED用装置、GaN用装置販売 ・ MBE装置は世界の50%シェア ・ CS装置売上:108億円(2004) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 光・電子デバイス用GaN装置を拡販。台湾、米、中国、韓国向 ・ GaN/Siエピ用にMBEを拡販 ・ SiCエピ装置はない。
	リベール	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究用MBE装置主体 	<ul style="list-style-type: none"> ・ GaN試作開発装置の拡販

出典:半導体新聞、商社ヒアリング

国内エピ装置メーカーの戦略

- ・国内エピ装置メーカーはGaN用装置の拡販に注力。
- ・規模の小さいエピ装置メーカーは国の補助金で装置開発中。

メーカー	状況	戦略
大陽日酸	<ul style="list-style-type: none"> ・化合物半導体装置の国内最大メーカー ・材料ガス、有毒ガス除外装置も販売 ・中大型MOCVD注力。横型リアクター式 ・国内向が80%で、GaN用装置が80% ・CS装置売上：37億円（2005） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ GaN高輝度青色LED、LD装置の拡販 ・ GaAs赤色LD装置の拡販
エピクエスト	<ul style="list-style-type: none"> ・2005年創業。日新電機から技術移管 ・研究用MOCVD、MBE、SiC・CVD。 ・縦・横型リアクター式 ・CS装置売上：5億円（2005） 	<ul style="list-style-type: none"> ・産学連携で技術開発、PR 立命館大学、名城大学、東北大学 ・AlN用、ZnO用、InN用装置の拡販 ・METI支援事業推進中「MBE装置」
アセック	<ul style="list-style-type: none"> ・堀場製作所の100%子会社 ・量産用大型MOCVD注力。 ・GaAs・InP/LED用装置、LD用装置 ・CS装置売上：10億円（2004） 	<ul style="list-style-type: none"> ・社内デモ機設置しユーザーPR ・製造を外注し、コスト低減 ・GaN用装置を拡販 ・NEDO支援事業で大型機開発中

化合物半導体エピ装置メーカーに係わる課題

国内LED製造メーカーは自社開発装置やエピ装置メーカーの改造で対応し、現状国内の大型量産機への需要は小さい。

GaN用量産機は日亜等の特許があり、日本では販売が難しい。

GaN系LEDが液晶TVバックライト、車載ランプ、一般照明として採用、またDVD、家電インバーター、自動車への展開があるかが拡販課題。

エピ装置のマーケットが小さく、シリコン関連の装置のように自動化装置等の開発がメーカーとしてできない。

化合物半導体の最終製品を製造するナショプロは海外メーカーが期待し、国内メーカーは装置開発のナショプロを一社で実施希望。

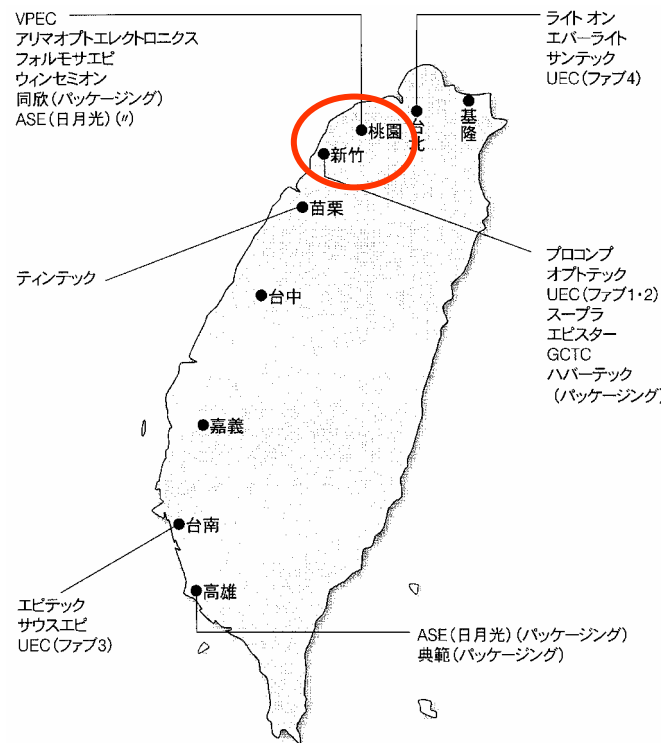
国内エピ装置小メーカーは産学連携で事業を進めており、ナショプロ等での支援必要(米国比べ国の支援額が1/10と少ない)。

9. 海外展開の動向

海外拠点

- ・住友電工、日立電線、信越半導体が主として台湾(化合物半導体の一大消費地)に生産拠点(赤マーク:台湾北部)を設立。

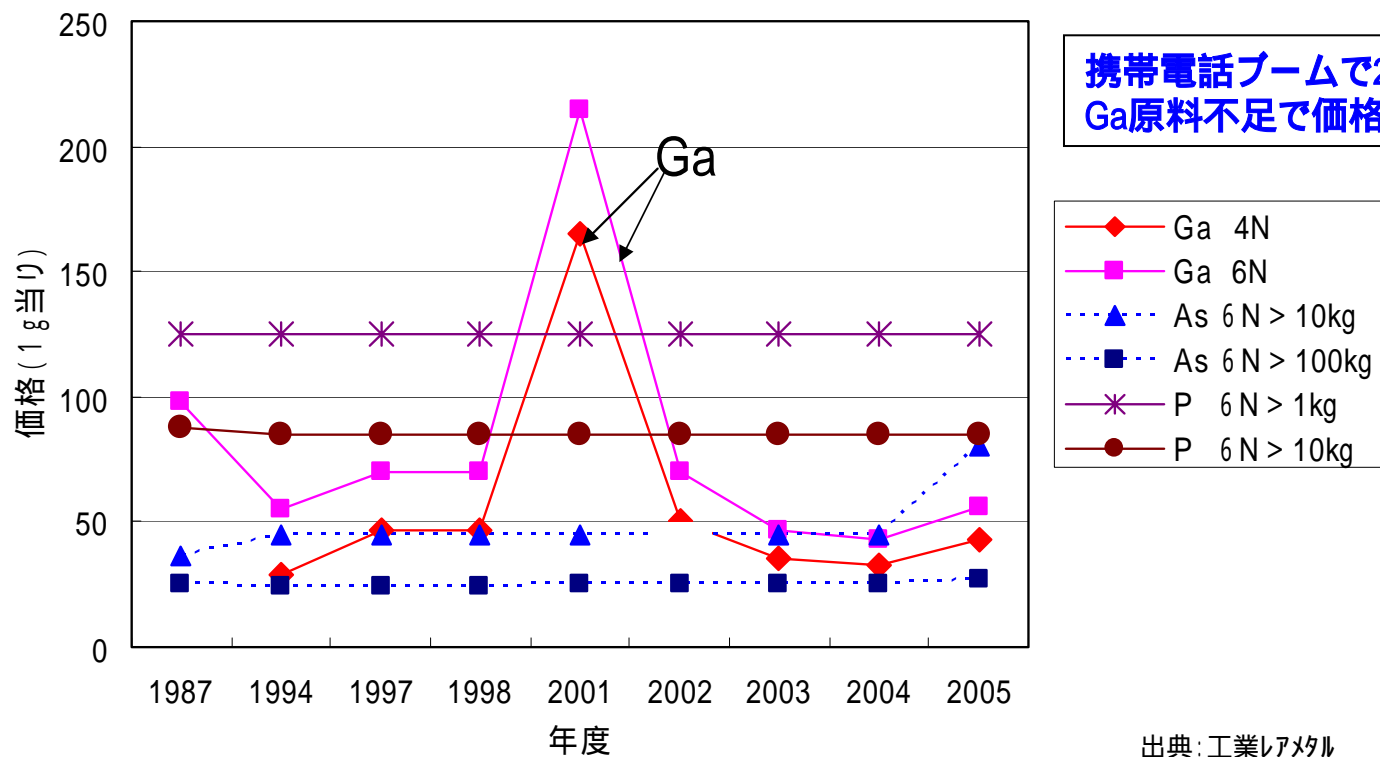
会社名	内容	製品
住友電気工業	Sumitomo Electric Semiconductor Materials, Inc. ・所在地: 米国・オレゴン州ヒルズボロ市 ・資本金: US \$ 10百万 ・出資比率: 住友電工80%、三井物産20% ・生産開始: 2001年8月	GaAsのウェーハーポリッシュ
	住電国際電子材料股イ分有限公司 ・所在地: 台湾・新竹工業団地 ・資本金: 1.2億NT\$(約4.2億円) ・出資比率: 住友電工100%	GaAsのウェーハーポリッシュとウェーハースライス
日立電線	Giga Epitaxy Technology Corp. (GET社) ・所在地: 台湾桃園 ・資本金: 10億元(約33億円) ・出資比率: 日立電線51% ・生産開始: 2004年7月	・GaAs系エピウェーハー 6インチまでのMOVPE法によるエピウェーハー
信越半導体	信越光電股イ有限公司 ・所在地: 台湾・新竹市	・化合物半導体の製造販売



10. 原材料調達の変動

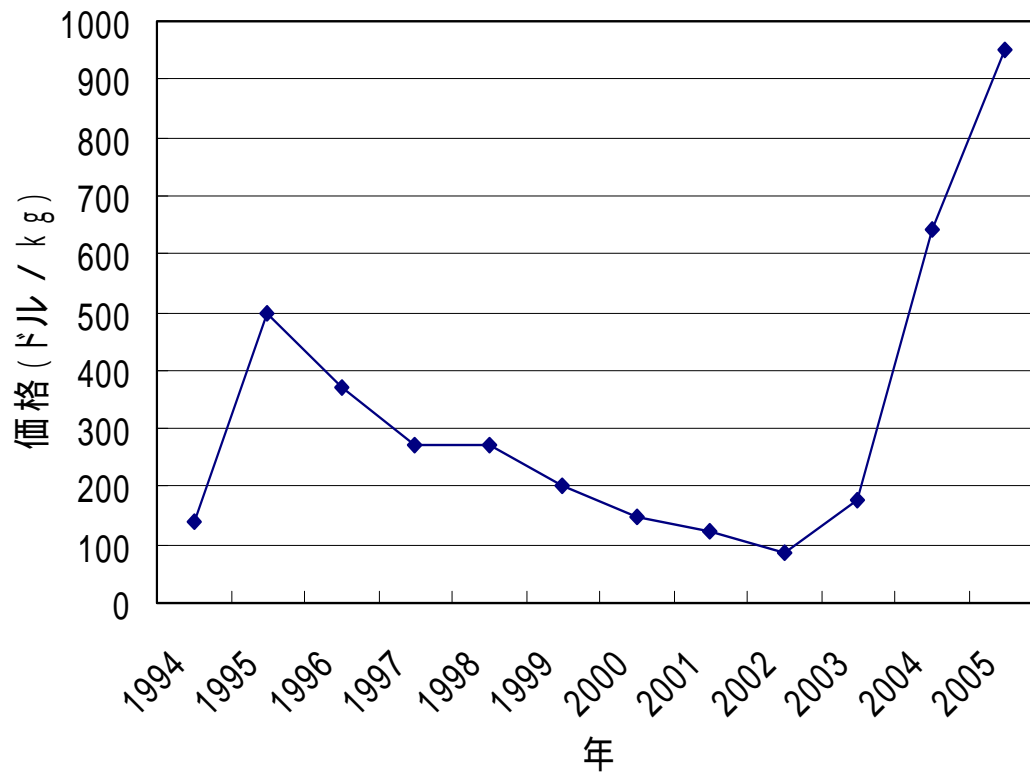
Ga、As、Pの原料価格の推移

原料価格はAs、Pは安定しているが、Ga価格は不安定。
購入口ツの大きさに価格が大きく変動。Gaの確保。



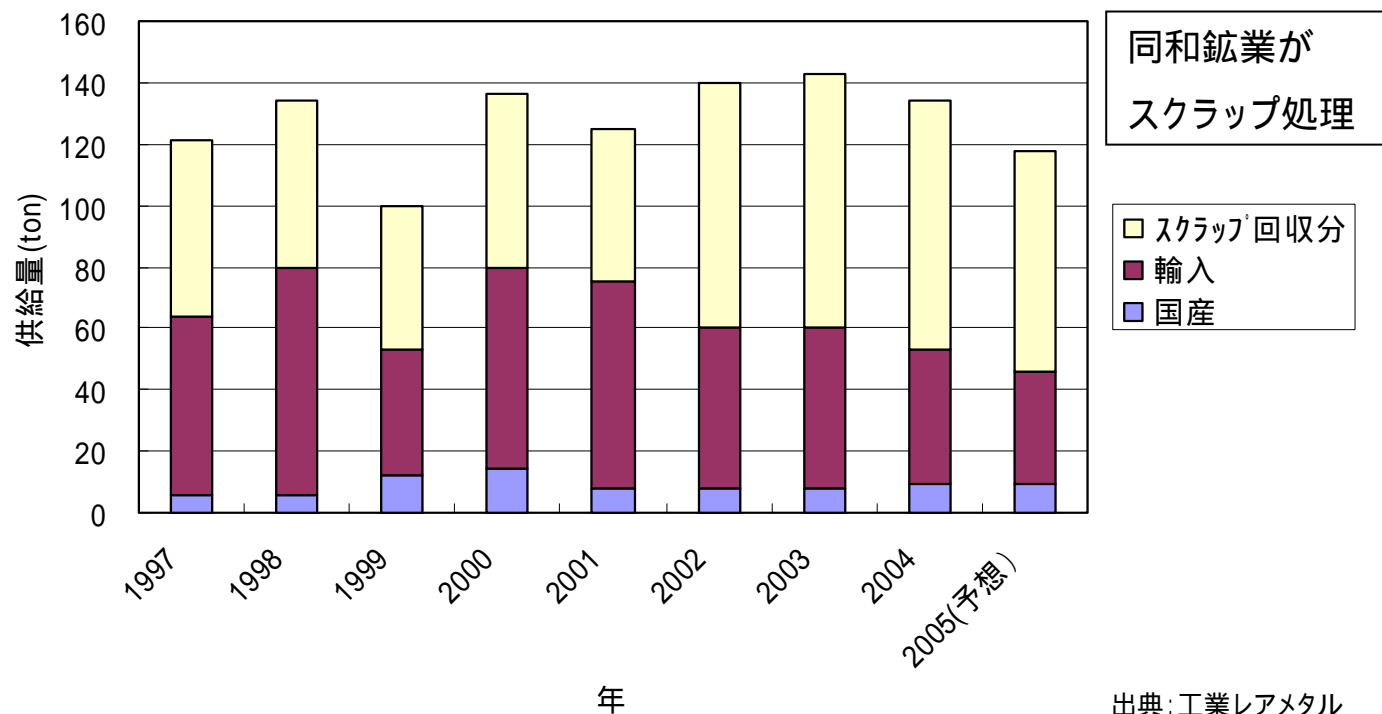
インジウム(In) 価格の推移

・インジウムは価格変動が非常に激しい。Inの確保。



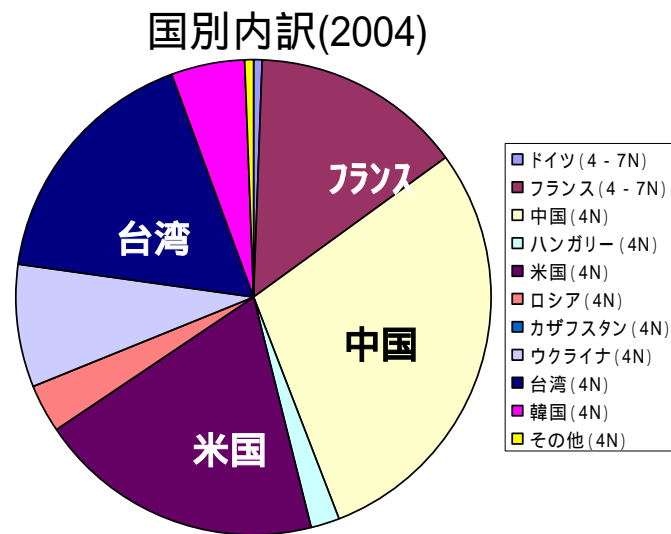
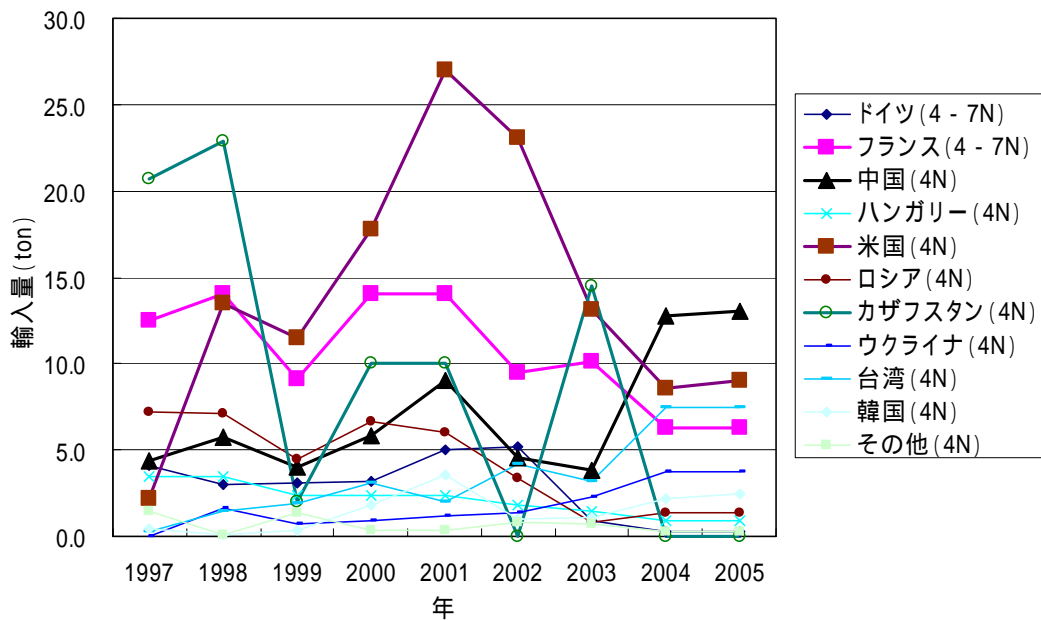
日本のGa供給量の推移

- ・国産のGaは少量で、輸入とスクラップ回収分(化合物半導体メーカー工場から)で大半。
- ・供給量に変動が大きいがスクラップ回収分が増大。



Ga輸入品の国別内訳

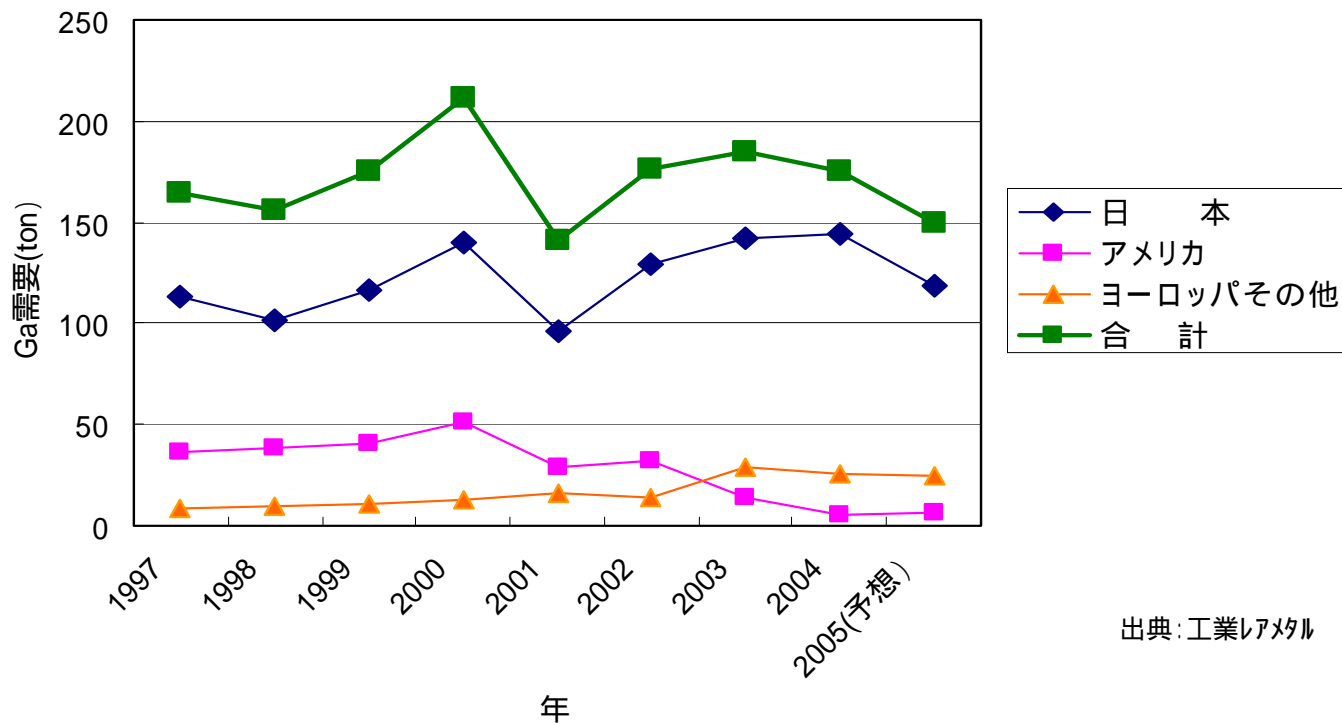
・アメリカからの輸入が直近減少し、中国が増大中。



出典:工業レアタル

世界のGaの需要

- ・日本のGa需要は100トン以上で、直近の世界需要の約70%以上を占める。
- ・米国のGa需要が減少しているが、米国内での基板製造は大幅縮小したため。



出典:工業レアメタル

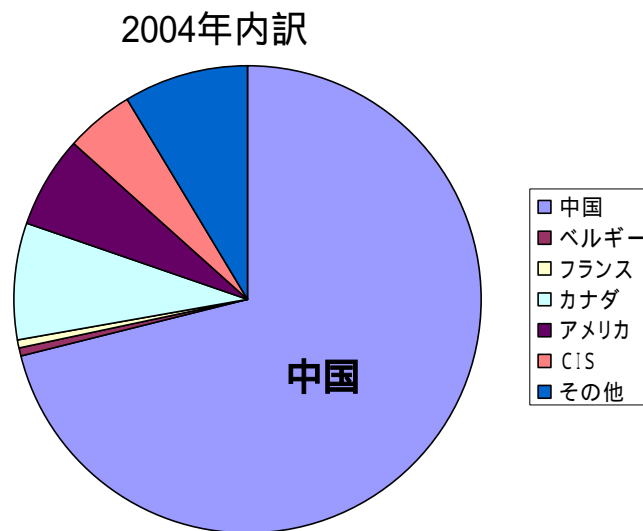
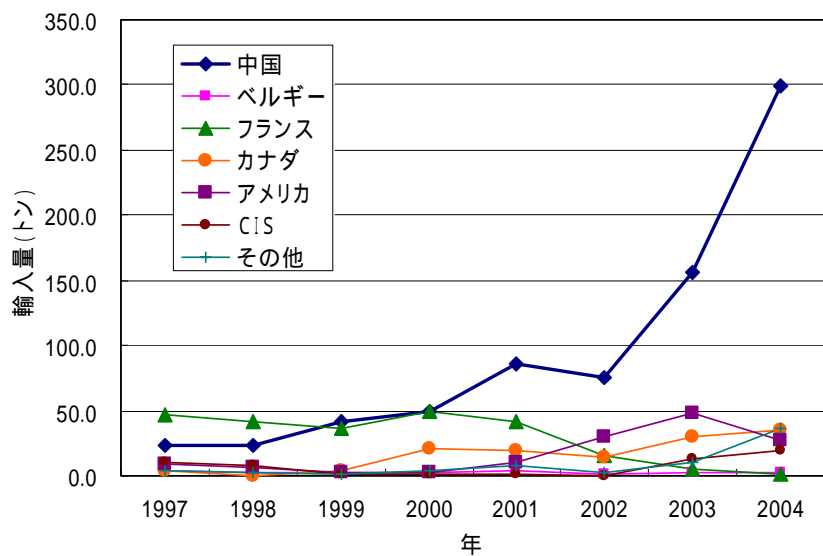
インジウムの国内需給推定(トン)

・化合物半導体へのインジウム使用量は少なく、価格は他の用途の影響を受ける。

		2002	2003	2004	2005
供給	国内生産量	60	70	70	70
	輸入量	140	264	421	350
	スクラップ再生	158	16	230	300
	供給計	358	494	721	720
需要	透明電極	300	360	470	590
	ボンディング	21	25	35	44
	化合物半導体	7	7	7	7
	蛍光体	8	8	8	8
	低融点合金	6	6	8	12
	ベアリング	1	1	1	1
	電池材料	5	5	5	5
	歯科用合金	3	3	3	3
	その他	4	4	4	4
	需要計	355	419	541	674(予測)

インジウム(In)輸入品の国別内訳

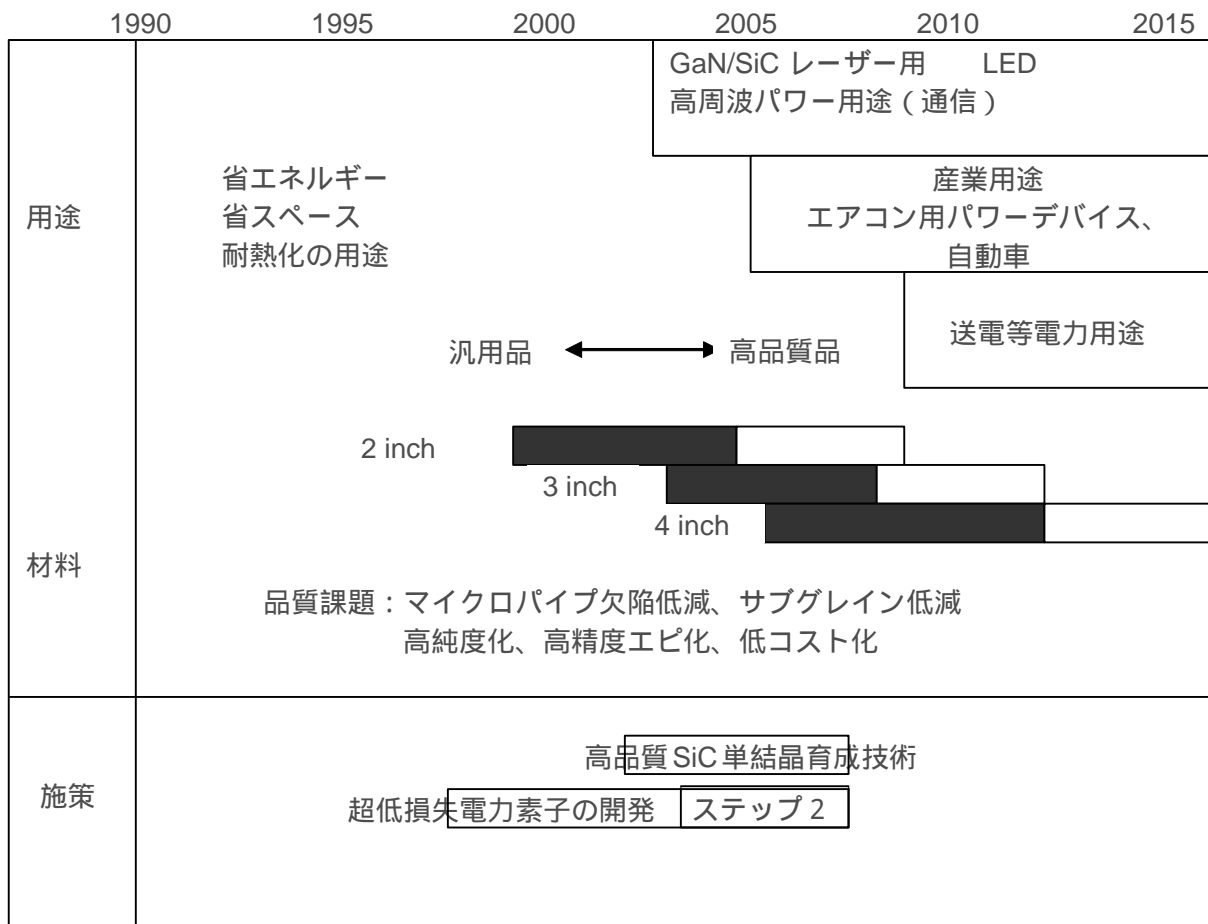
・輸入は中国からの輸入が2002年以降急拡大し、現在は大部分中国からの輸入である。



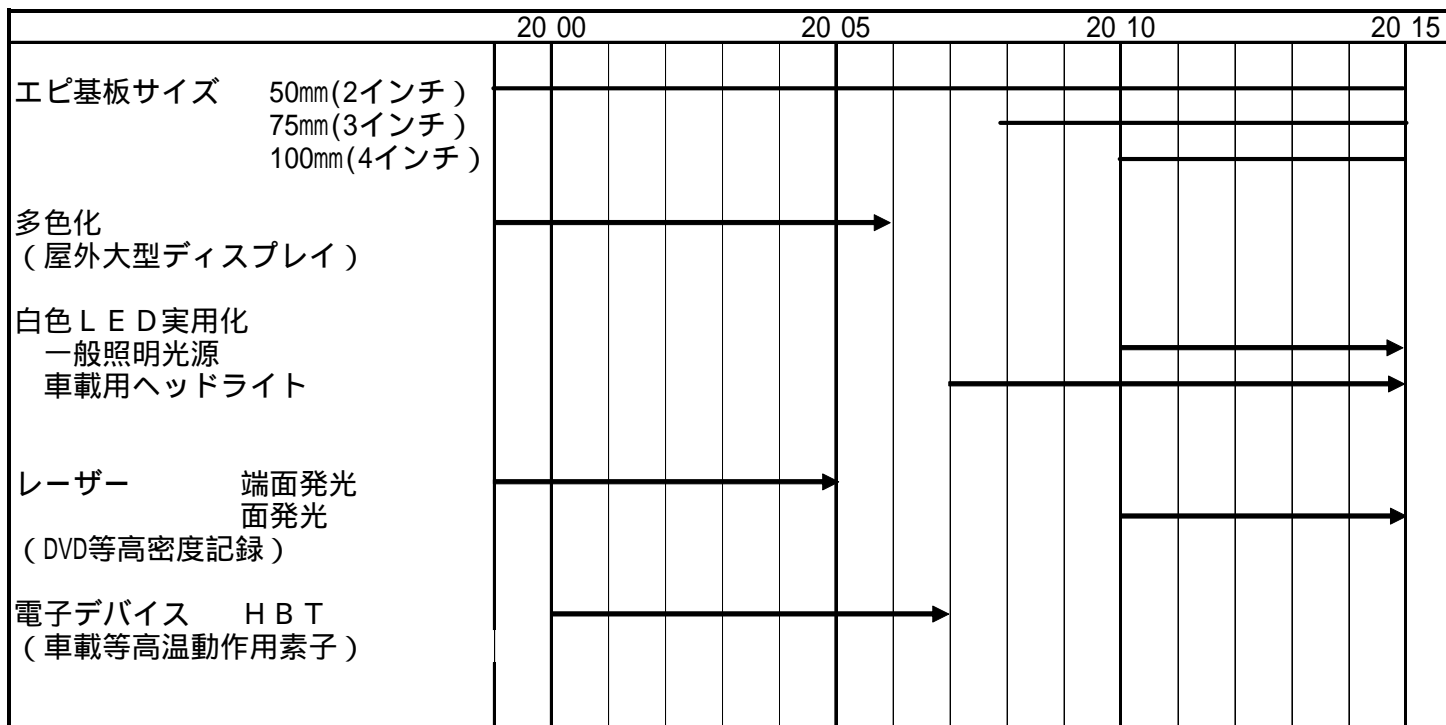
出典:工業レアメタル

11. 化合物半導体のロードマップ

SiCデバイスと材料ロードマップ



GaN系ロードマップ



このロードマップを日本で実現するには官の主導により複数企業による協力が必要である。
 基板サイズの拡大はMOCVD技術の大型対応が鍵で現況は未だ、その段階ではない。
 市場規模の大きいのは照明用LED、高密度情報記録(DVD等)用LEDである。
 白色LED実用化研究、GaN基板結晶成長技術、面発光LEDの各開発プロジェクトが必要である。
 照明用白色LED実用化研究 (あかり計画に続く実用化研究)
 高密度記録用面発光LEDの開発

5年 30億円
 5年 30億円

GaAs系ロードマップ

		20 00	20 05	20 10	20 15	
電子デバイス	75mm	[Shaded]				Large Diameter
	100mm	[Shaded]				
	150mm	[Shaded]				
	200mm	[Shaded]				
	携帯電話	Analog				
			TDMA	ODMA		
			DBS	CS		
	情報通信 F/O	FTTH				
			VSAT			
	無線 LAN		PtoP/MP			MMC
		LMDS				
車・交通	GPS					
		衝突防止システム				
		高速自動料金システム / 交通制御システム				
光デバイス	50mm	[Shaded]				Low Dislocation Density
	75mm	[Shaded]				
	100mm	[Shaded]				
	表示	AlGaAs	高輝度赤			Hi-power/Hi-speed LED
	光 LAN	赤外	IRDA			
		AlInGaP	高輝度赤～黄色			
	データ記録・再生	CD, CD-ROM	AlGaAs(赤外)	EDFA		
	AlInGaP(赤)	DVD			Laser Diode	

まとめ

用途：・化合物半導体の用途はLED、LDの光デバイス用が過半。

- ・材料価格がSiウエーハ-の10倍高い。独自の市場開拓が必要。
- ・自動車、白色LEDへの適用開発は進行中。

生産状況：・2000年までは順調に拡大したが、ITバブル崩壊以後、約500億円程度の国内生産額で停滞中。

- ・GaAsが大部分、GaPは減少中。GaNは統計に出ていない。SiCは Cree-社独占。
- ・日本の材料としてのシェアは約50%以上で、世界的には独占的。
- ・LEDランプとしての日亜・シチソン等の販売額は急拡大。

価格：・2002年以降材料価格が低下し、直近は価格は安定。

- ・原料費に比べ、製品価格は高いが、製造コストは高い。

輸出：・材料輸出比率は増加傾向。

企業構造：・国内は半導体専業メーカーはなく、非鉄大企業の一部門として、8社も参入中で、一社当たり販売額は多くても150億円/年程度。

技術動向: ・SiCとGaNの研究が盛んで、ナショナル課題も国内・海外とも多い。

- ・基板では結晶欠陥発生防止技術が大きな課題
- ・住友電工と日立電線の特許が多く、研究者も多い。

装置メーカー: ・結晶製造装置メーカーはなく、エピメーカーが主体だが、海外メーカーがほとんど。エピ工程の重要性が増している状況。

原材料調達: ・As、P価格は安定しているが、Ga及びIn価格が不安定。

- ・輸入と国内メーカーからのスクラップ回収で調達。
- ・アメリカからの輸入が減り、中国からの輸入が大部分。
- ・世界のGa需要の約70%以上を日本が使用(直近数年)。

海外展開: ・住友電工、日立電線、信越半導体が主として台湾に製造拠点を設立。

国内化合物半導体事業の強み・弱み

強み

- ・国内非鉄大企業が民生用向製品開発に多数参入し、研究開発が進められた。
- ・シリコン事業で培った、技術・ノウハウ・設備が応用できた。
- ・研究者、技術者のレベルが高く、高品質の製品が低コストで製造できる。
- ・優秀な研究者がGaNの新技术開発を行い特許を多数成立させ、他社参入が防止できた。

弱み

- ・国内非鉄産業各社の化合物半導体事業の売上げが小さく、新規市場が見えないので、新規投資ができない。また専業ではないので、必死さが不足する。
- ・デバイスの性能を決定するEUV成長装置が海外メーカーが強く、ノウハウ込みで台湾等に技術供与され、キャッチアップされる恐れ。
- ・政府の化合物半導体事業への支援が米国より不足する。

12. 技術流出防止指針

(1) 技術革新による恩恵と技術格差

- 技術革新は恩恵をもたらす
 - 自らが恩恵を享受する
 - 輸出により恩恵を享受する人、国が増加する
 - 同時に、技術を保有する者が享受する恩恵も増加する
 - 技術供与、海外拠点の展開等による拠点の拡大により、更に受けられる恩恵が膨らむ
 - こうした循環の繰り返しにより世界経済が発展してきた
- その技術価値が高い程、受ける恩恵は大きい
- 反面、大きな恩恵をもたらすことができるのは、他社、他国等コンペティターとの技術優位性が高く、また技術格差が大きいときであり、所謂、技術流出に対するポテンシャルも高い。

(2) 技術流出

- 対象となる企業は技術、ノウハウを有する製造業
- 「**技術移転、技術供与**」と「**意図せざる流出**」
ここでは主にアジア地区における生産拠点の展開、合併事業、技術供与といった際に発生しやすい、想定を超えた「意図せざる流出」を指すこととする
- 「技術移転、技術供与」
日本企業が生産拠点を海外へ移転、または海外メーカーへ技術供与する際は事前にしっかりとの方針を作成し、社内でコンセンサスを得ることが重要。
すなわち「供与する技術範囲」を明確にし、どこの範囲までを「予定された範囲」、「意図せざる流出」と判断するかというシステム

(3) 「意図せざる技術流出」のあり得るパターン

- 事前の社内方針不備による流出
 - ✓ ライセンス先の説明する法制度、慣行を鵜呑みにして本来講じるべき対応策が盛り込まれず、意図した範囲を超えた技術活用が図られた
 - ✓ 監視、監督体制不備による、第三国市場への販売等の契約不遵守
 - ✓ ユーザーの強い要望により、時期を合わせるため、管理体制が不備のまま現地生産を開始
 - ✓ 技術提携先からの研修生による資材情報、製造ライン情報の流出
- 生産現場管理の不備による流出
 - ✓ 提携先に与えた設備情報をもとに、現地工場出入りの設備メーカーが安価な模倣品を販売
 - ✓ 設備パラメーターまで渡していたところ、そのパラメーターを使った模倣品が出回った
 - ✓ 装置部品、金型等ノウハウの含まれる図面等が保守の名目で提出させられ技術流出
- 人を介した流出
 - ✓ 従業員が勝手に文書類を持ち出す
 - ✓ ライセンス先の技術習得した管理職が転職し流出
 - ✓ 日本の企業人が週末に技術指導に出向き技術流出
 - ✓ 産学共同研究等で、共同研究者との事前の具体的な秘密保持契約がなされていないかつ、知識不足により第三者へ技術が流出

(4) 「意図せざる技術流出」の防止

➤ 技術流出防止基本方針の策定

海外への技術移転、技術供与は企業における海外戦略、ひいては企業理念に基づく経営方針であり、あらゆる事態を想定し、事前に充分なる調査と社内コンセンサスを得たものでなければならない。

✓ 最高責任者が関与した策定

✓ しっかりとした事前調査

◇ 自社で有する技術の、領域の特定

◇ 技術(製品)毎の競争力分析

◇ 相手国の状況分析(市場、知的財産保護状況、ライセンス規制、労使関係等)

◇ 海外への技術移転に対する考え方の整理と意図せず流出した場合のリスク分析

✓ 基本方針へ盛り込む内容

◇ 海外進出にあたっての技術移転戦略に関する事項

◇ 海外への技術移転を念頭に置いた知的財産戦略に関する事項

◇ 技術移転にあたっての長江なビジネス環境の創出に関する事項

(むやみに日本人管理者を現場に置かない)

➤ 技術(製品)毎の「技術移転の考え方及び技術流出防止計画」の明確化

✓ 技術毎に重要度をコア技術、慎重に考慮すべき技術、オープン可能技術に種分け

✓ 重要技術のブラックボックス化の可否の検討

✓ 技術供与先との契約形態、事業実施範囲、現地の知的財産保護の状況に応じた方針策定

(5) 技術流出防止管理マニュアルの策定

- マニュアル策定にあたっての作業例
 - ✓ 技術流出の有無についての実態分析
 - ✓ 意図せざる流出の可能性のある形態の整理・分析
 - ✓ 技術流出防止策の整理
 - ✓ 国内及び海外事業所の特性に応じた留意事項の整理)
- 管理マニュアル内容例
 - ✓ 基本方針
 - ✓ 社内体制(投資等の意思決定、投資契約上の留意点、人材管理等)に関する事項
 - ✓ 関連情報の収集・提供及び社内教育の実施に関する事項
 - ✓ フォローアップに関する事項
 - ✓ 組織最高責任者による見直しに関する事項

(6) 技術流出防止のための社内組織体制

- 上記マニュアルに沿った体制整備
- 意思決定のための組織体制
 - ✓ 本社決済方式(中央集中意思決定方式)
 - ✓ 事業部(カンパニー)決済方式(分散意思決定方式)

13. 韓国における転職規制の概要

転職規制に係わる法律の概要

	法律名	国外での使用・開示	元役員・元従業員	懲役	罰金(自然人)	併科	国外使用・開示の重罰化	法人処罰	罰金(法人)	非親告罪化
韓国	不正競争防止及び営業秘密保護法			5年以下	利得額の2倍以上10倍以下		7年以下		個人と同じ	
日本 H17改正	不正競争防止法		媒体横領・複製、在職中約束の場合	5年以下	500万円以下		×		1億5千万円以下	×
日本 改正前	不正競争防止法	×	媒体横領・複製の場合	3年以下	300万円以下	×	×	×	×	×

出典：経済産業省 知的財産政策室「平成17年度改正不正競争防止法の概要」

転職禁止、営業秘密侵害禁止に係わる韓国の判例

当事者	裁判所	判決日	概要
ネオエムテル(申請人) ジョン・ (被申请人)	ソウル中央地方法院	2005/9	<p>営業秘密保護及び転職禁止約をした勤労者の転職を制限した事例</p> <p>不正競争防止法上の営業秘密とは、公然と知られておらず独立された経済的価値を有するものとして相当な努力により秘密に維持、管理された生産方法・販売方法、その他営業活動に有用な技術上または経営上の情報を示すと言えるところ、会社との約定により営業秘密維持義務及び転職禁止義務を負う者は上記のような営業秘密の保護のために一定期間、上記の営業秘密と関連した業務に従事してはならない。</p>
三星電子(申請人) 李ソンギュ(被申请人)	水原地方法院城南支院	2002/5	<p>転職禁止期間の起算点と不正競争防止法により保護される営業秘密の時間的範囲について判示した事例</p> <p>申請人は、申請人会社の移動通信端末機の開発業務を担当していたところ競争会社であるペンテックに第1次の転職をしたが復職し、1年足らずで再度ペンテックに第2次の転職をした被申请人に対して第2次の転職日から3年間の転業禁止、営業秘密公開禁止等を求める仮処分を裁判所に提起したが、裁判所は申請人の請求を棄却した。 転職禁止期間を1年と判断し、請求棄却。</p>

出典：JETRO「韓国の知的財産侵害判例・事例集」
金・張法律事務所報告