

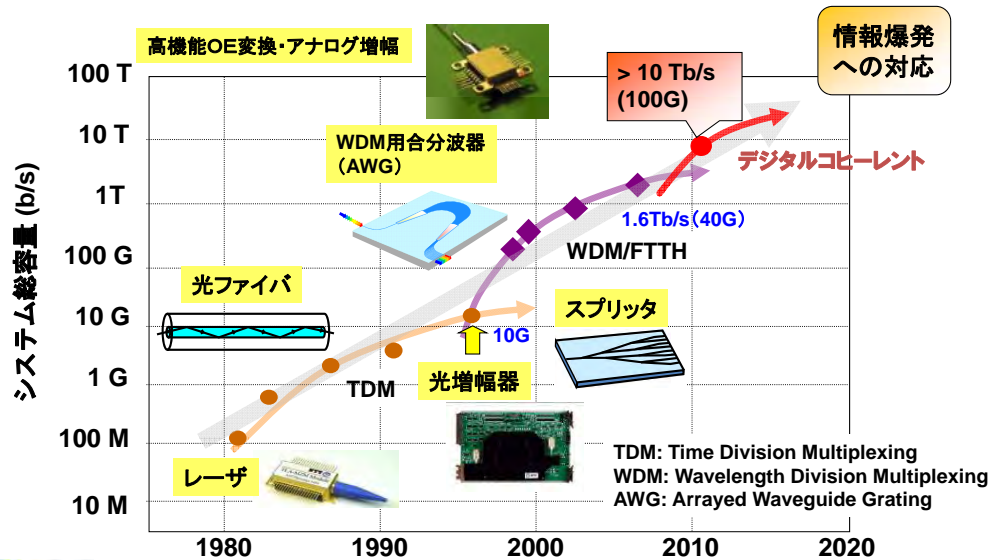
THzエレクトロニクス時代における 化合物半導体デバイス技術

NTTフォトニクス研究所
榎木孝知
2011. 1. 14

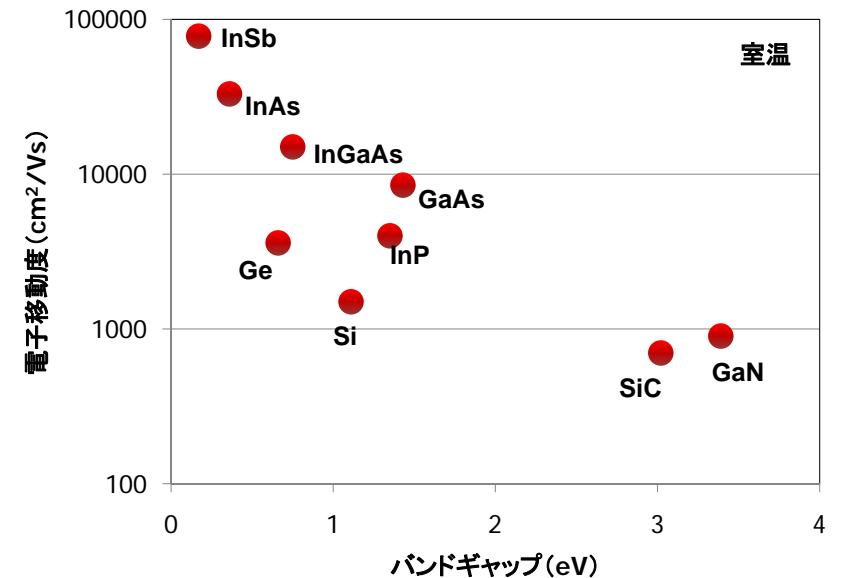
- ◆ 通信を支えるハードウェア技術
- ◆ 高周波化合物半導体電子デバイスの役割
- ◆ 高周波化合物半導体電子デバイスの現状と可能性
- ◆ 海外での取り組み例
- ◆ 持続的なデバイス開発の課題

光ファイバ伝送実用システムの進展

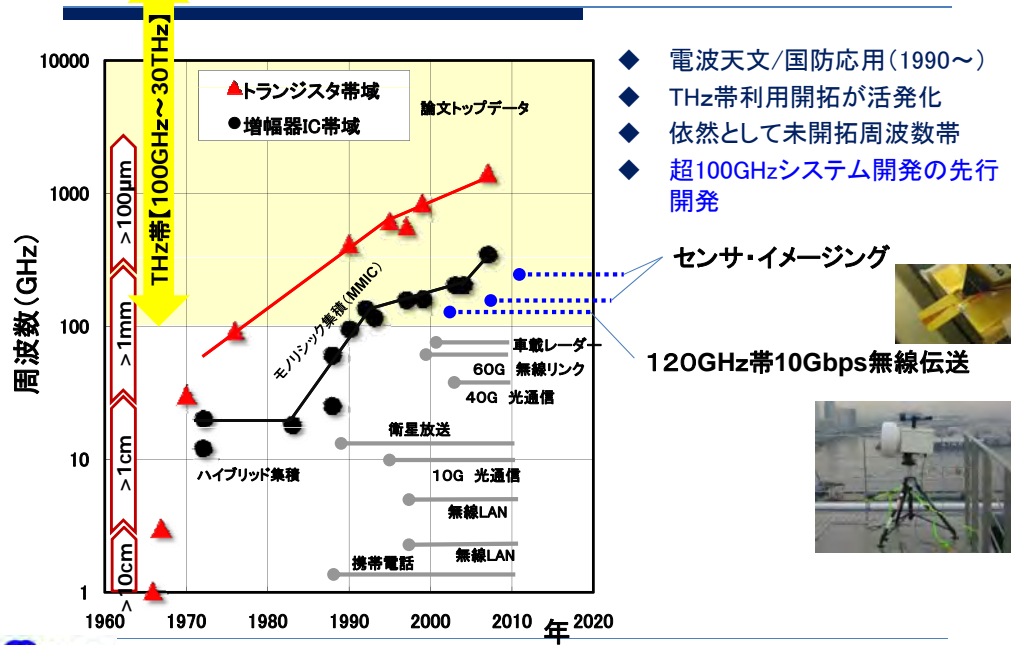
光の物理資源(時間・波長・位相・偏波・振幅・空間)を活用して、情報伝送



半導体の電子移動度

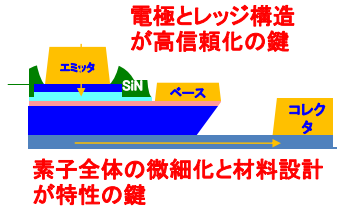
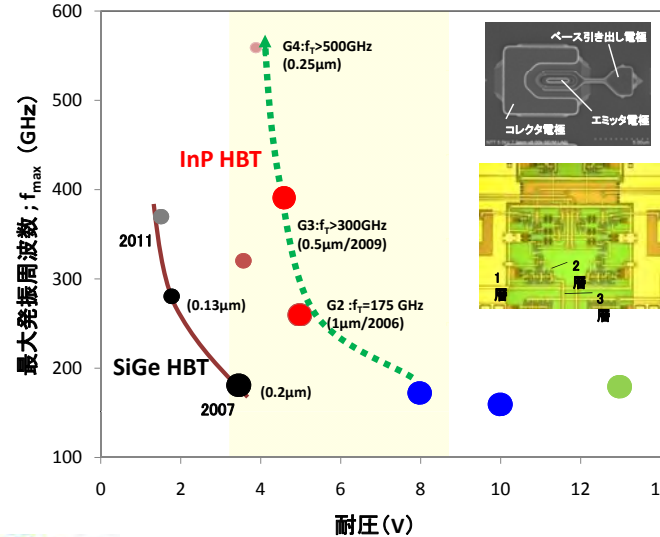


超100GHz(THz)エレクトロニクス



InP系HBT(光通信IC)

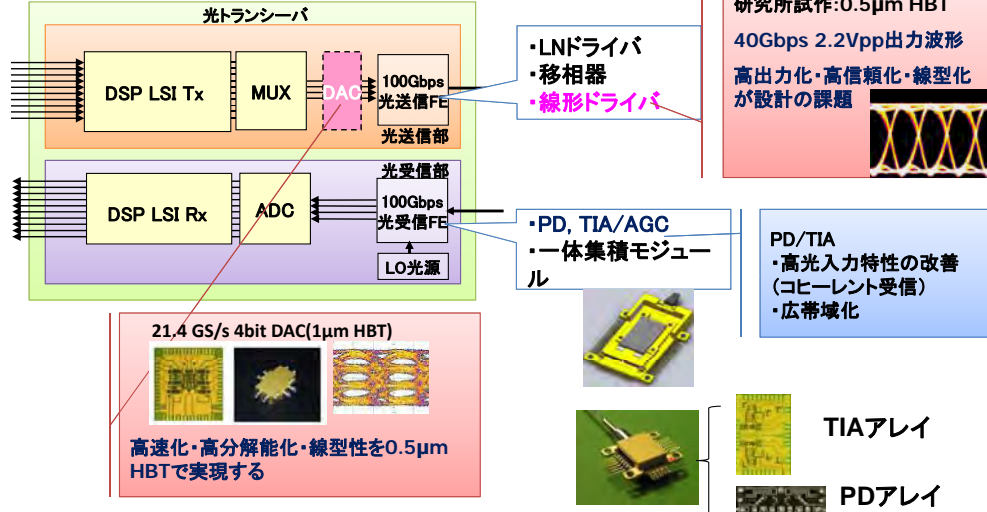
- ◆ 低電流で高利得(バイポーラトランジスタの特徴)であり、広帯域(ベースバンド)増幅器に有利



- ◆ 電極とレジスト構造が高信頼化の鍵
- ◆ 素子全体の微細化と材料設計が特性の鍵
- ◆ 高耐圧性の維持
 - ✓ ダイナミックレンジ拡大
 - ✓ 低歪み化
- ◆ 高周波化
 - ✓ 低消費電力化
 - ✓ 高利得化

次世代伝送システムを支える高速光エレクトロニクス技術

◆100Gデジタルコヒーレント光伝送装置の開発



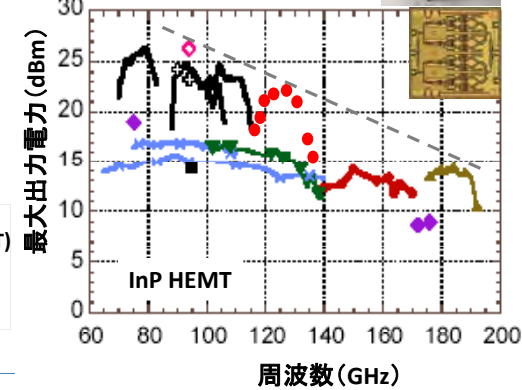
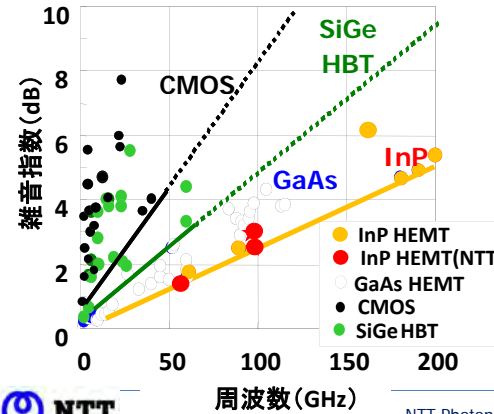
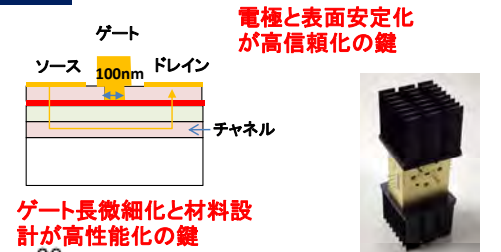
◆次世代変調方式研究

多値変調、帯域制限、予等化技術のキーアナログデバイスは高速DACと線形ドライバ

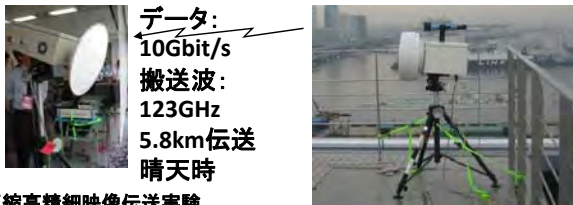
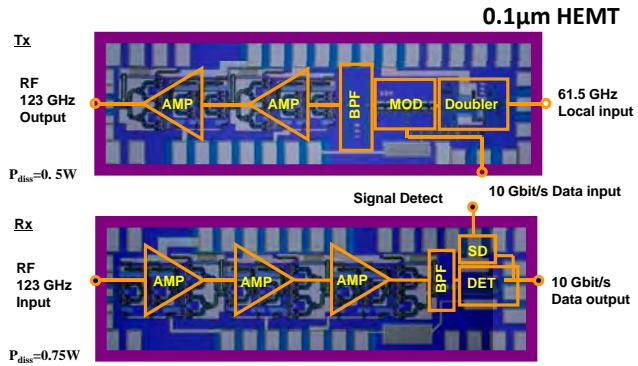
InP系HEMT(ミリ波IC)

◆低雑音及び高周波高出力

- ✓ 低雑音化設計: $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}/\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 量子井戸構造(世界最高電子移動度実現)
- ✓ 高出設計: $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ コンポジットチャンネル構造



120-GHz帯無線伝送応用

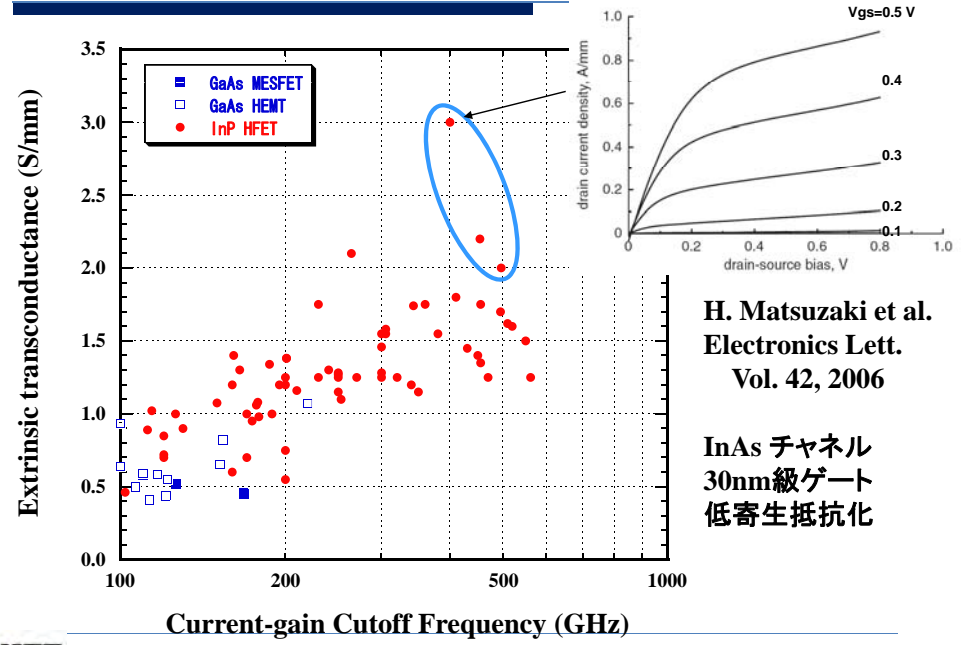


データ: 10Gbit/s
搬送波: 123GHz
5.8km伝送
晴天時

非圧縮高精細映像伝送実験
(NTT マイクロシステムインテグレーション研究所: 総務省 受託開発)



f_t and g_m of HEMT



H. Matsuzaki et al.
Electronics Lett.
Vol. 42, 2006

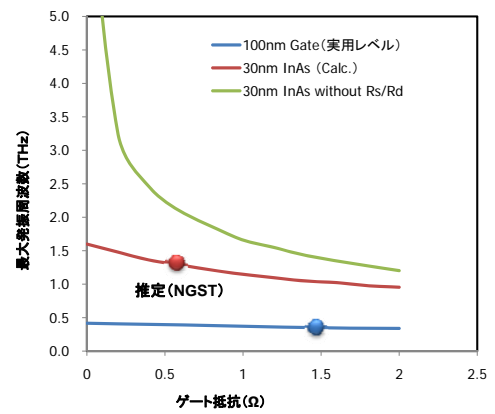
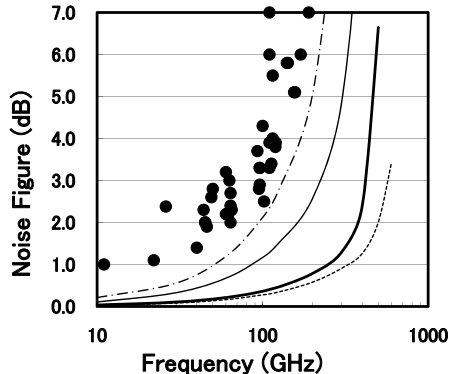
InAs チャンネル
30nm級ゲート
低寄生抵抗化



極限性能(計算値)

- 高電子移動度チャンネル(InAs, In_xGa_{1-x}As, x>0.53) と50nm以下のゲート長微細化 → 300GHz帯 LNA NF<4dB)の可能性
- R_g, R_s, R_d等寄生素子低減のエンジニアリングで2THz級の帯域も期待できる

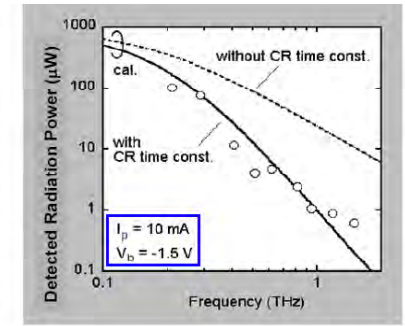
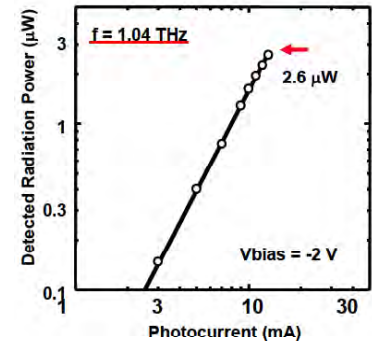
Reported
L_g=150nm(InGaAs) f_T/f_{max}=172/530GHz
L_g=100nm(InGaAs) f_T/f_{max}=240/650GHz
L_g=50nm(InGaAs) f_T/f_{max}=334/776 GHz
L_g=50nm(InAs) f_T/f_{max}=440/878 GHz



THz帯フォトミキサ



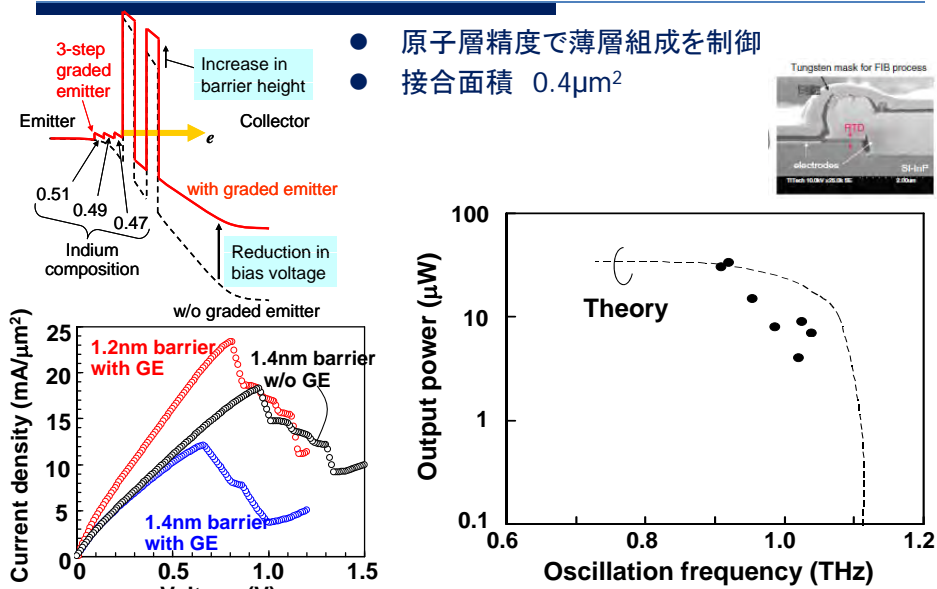
- 高速動作に有利な電子電流
- 走行時間短縮のバンドプロファイル設計
- 電子の滞留が少なく、効率的に光電流を外部に取出せる(高速・高出力)



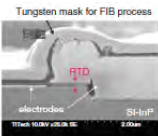
H. Ito, T. Furuta, F. Nakajima, K. Yoshino, and T. Ishibashi, J. of Lightwave Tech. Vol. 23,12, p.4016, 2005



THz帯信号源(RTD)

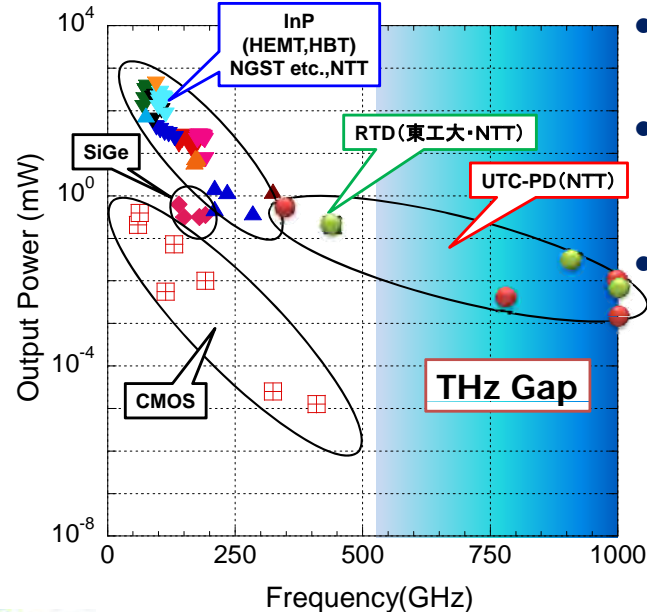


- 原子層精度で薄層組成を制御
- 接合面積 0.4μm²



S. Suzuki, M. Asada, A. Teranishi, H. Sugiyama and H. Yokoyama, Appl. Phys. Lett. 97 (2010) 242102

テラヘルツギャップを埋めるデバイス技術

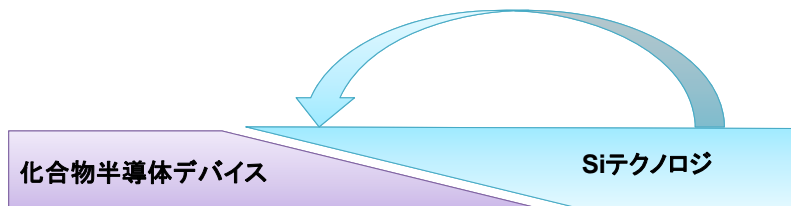


- 信号源と検出器は、周波数利用開拓の必須デバイス
- 300GHz以下では、化合物トランジスタが圧倒的に高出力
- 300GHz以上では、UTC-PDやRTDが世界最高出力

従来の周波数開拓モデル

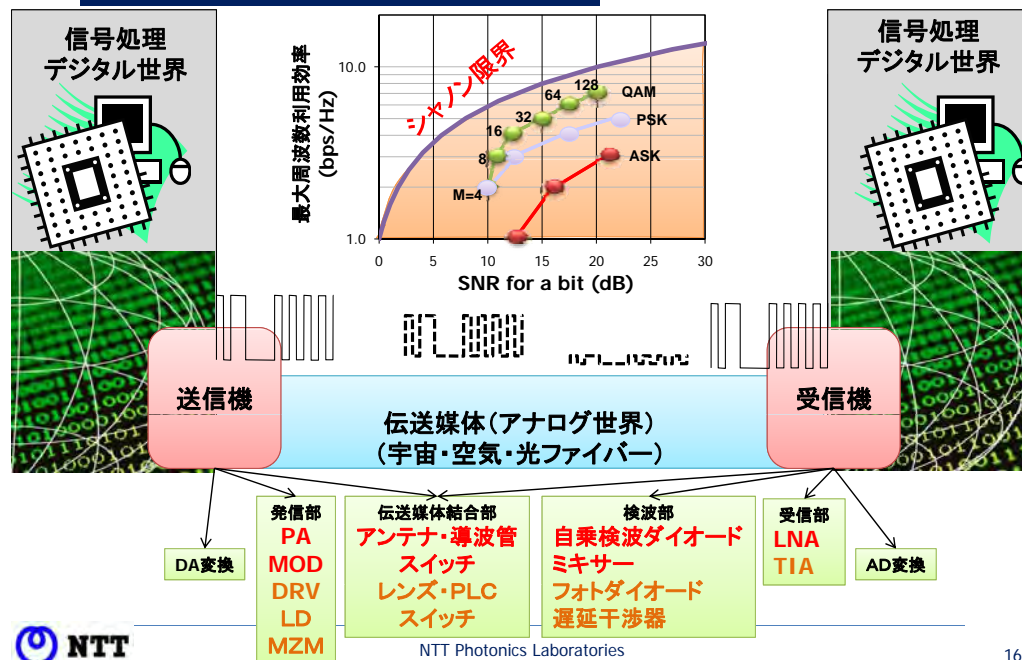


- 新材料研究
- 新原理導入
- ニッチユーザ探索
- 信頼性・製造体制
- 代替技術
- 大型設備投資
- 量産・低コスト化
- サプライチェーン
- 高機能化
- 製造体制維持

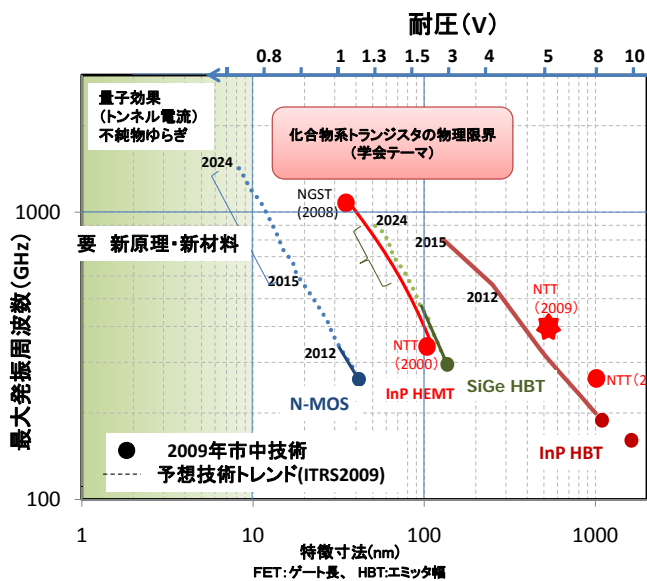


市場開拓で役割を終える化合物テクノロジーは、継続的に技術進化可能か？

通信用インターフェースの高性能化



ナノテクノロジーと高速トランジスタの技術動向



- ◆ アナログフロントエンド用デバイスとしての性能指標
 - ✓ 最大発振周波数(利得)
 - ✓ 耐圧(ダイナミックレンジ・出力)
 - ✓ 雑音(感度)
 - ✓ 歪み
 用途に応じた多様な要求性能
- ◆ Si系トランジスタ高速化は期待されるが、耐圧の低下は必至
 - ✓ 新原理・新材料の開拓は今後の課題(Beyond CMOS)であり、世界中の半導体研究者が注力(CNT, Graphen, 化合物MOS, Spin)
- ◆ InP系HEMT/HBTは、耐圧と高周波特性のトレードオフマージンが大きい。
 - ✓ 欧米は、軍事向けに高速化継続
 - ✓ 国内のデバイス開発は停滞

Monolithic v.s. Hybrid

ICレベル	Monolithic	Hybrid
アナログ性能	○	◎
回路設計性	◎	○
サイズ	◎	○
信頼性	◎	○
量産性(コスト)	◎	○

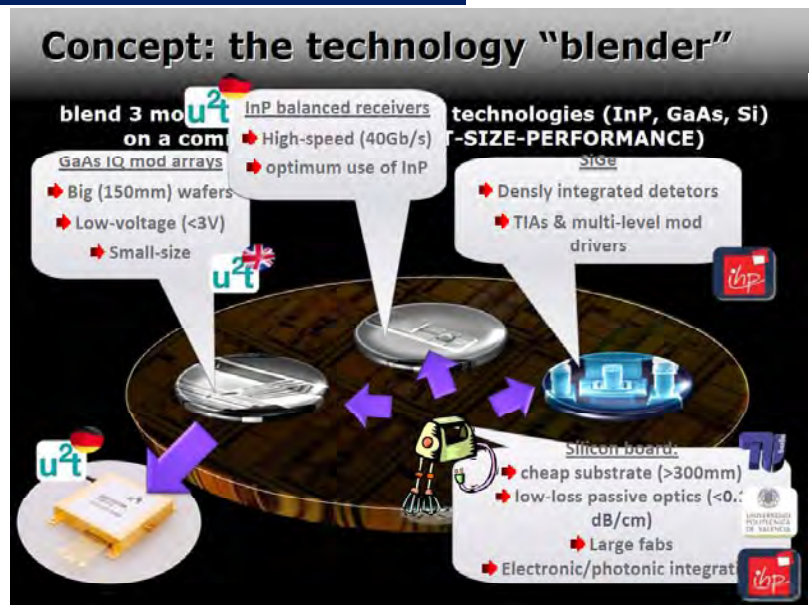
高均一化
高密度配線

サブシステムレベル	More Moore	Heterogeneous (実装)
アナログ性能	○	◎
回路設計性	◎	△
サイズ	◎	△
信頼性	◎	△
量産性(コスト)	× ~ ◎ (市場規模・歩留まり)	△

各ICの性能を引き出す新実装(集積化)技術の開発が必須
More than Moore

SoC可能なアナログ・デジタルシステムは、Siのアナログ特性と市場規模により決まる多様且つハイエンドなシステムには、Siと化合物の融合(ヘテロジニアス集積)が必要

欧米の取り組み



COSMOS in DARPA

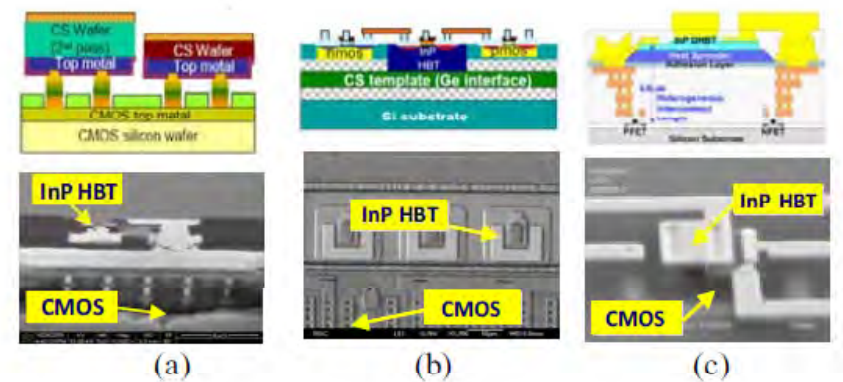


Figure 1. Heterogeneous integration processes: (a) micrometer scale assembly, (b) epitaxial layer printing, and (c) monolithic epitaxial growth.

THzエレクトロニクス時代のデバイス開発の課題

- 究極的高性能デバイス特性を必要とするTHzエレクトロニクス
- 米国を中心に研究加速
- 多様なアナログ特性に対応するため、ヘテロジニアス集積で各種デバイスの性能を最大限に発揮する

- 新規周波数開拓は新市場開拓
持続的なデバイス開発には、見合う市場が必須
 - 戦略の沿ったデバイス開発
 - 十分な市場規模までの成長を待ちきれない
 - 代替技術の台頭
 - 一定市場に複数企業が参入しパイ分割
 - 新規開発が困難

- Pioneer/Frontierとして開発段階から異業種連携と技術融合にチャレンジ