

60GHz帯全4チャンネル対応低消費電力 CMOS無線受信回路

◎南 亮, 浅田 大樹, 津久井 裕基, 山口 達也, アハマド ムサ,
佐藤 高洋, 竹内 康揚, 岡田 健一, 松澤 昭

東京工業大学大学院理工学研究科
電子物理工学専攻

- 研究背景・目的
- ダイレクトコンバージョン方式
 - 4段低雑音増幅器
 - ダウンコンバージョンミキサー
- 測定結果
 - 変換利得
 - 変調特性
 - 性能比較
- まとめ

- 研究背景・目的
- ダイレクトコンバージョン方式
 - 4段低雑音増幅器
 - ダウンコンバージョンミキサー
- 測定結果
 - 変換利得
 - 変調特性
 - 性能比較
- まとめ

60GHz帯の特徴

- ☹ 伝搬中の減衰が大きい
- ☺ 干渉しにくく, 幅広い帯域が無免許で開放されている

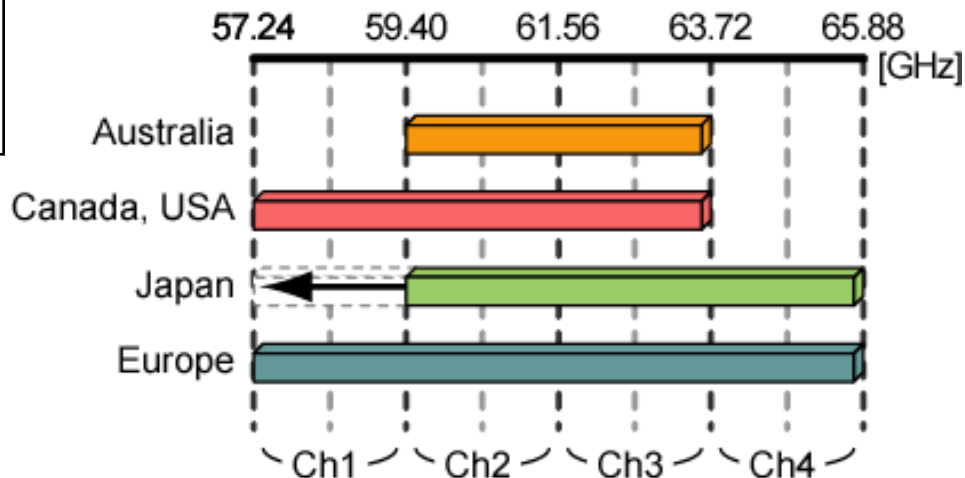


近距離高速無線通信への利用が期待される

IEEE 802.15.3c

- ・QPSK \Rightarrow 3.5Gbps/ch
- ・16QAM \Rightarrow 7.0Gbps/ch

Gbps級無線通信が可能

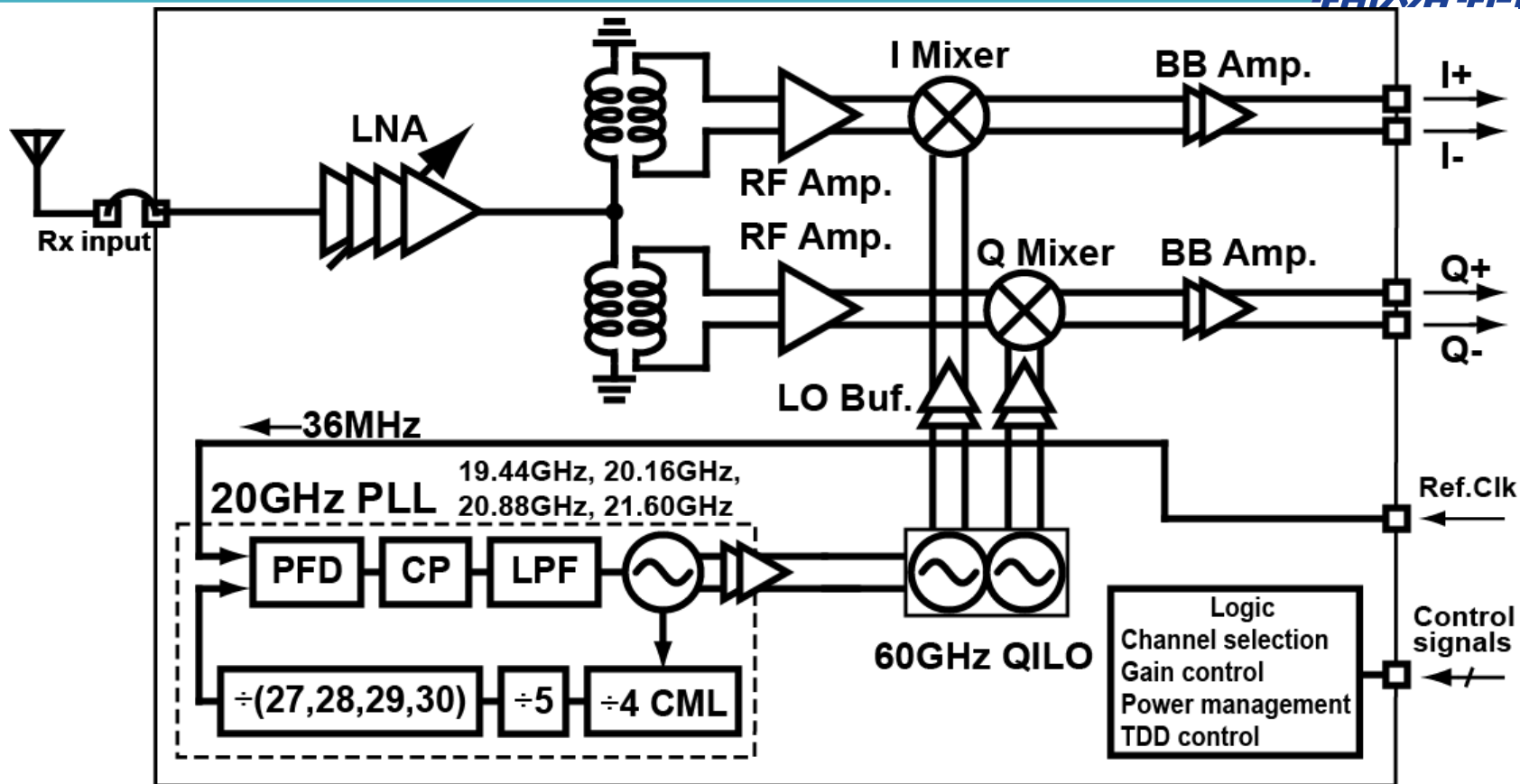


世界各国の無免許帯域

総務省 電波利用HP <http://www.tele.soumu.go.jp/index.htm>

Rxブロックダイアグラム

4



- 4段LNA, パッシブミキサ, 20GHz PLL_[1], 60GHz ILO_[2]
- チップ面積、消費電力の観点からダイレクトコンバージョン方式を採用_{[2][3]}
- 多値変調での通信を実現するため、利得の平坦性を改善

[1] A. Musa, et al., A-SSCC 2010 [2] K. Okada, et al., ISSCC 2011

[3] K. Okada, et al., ISSCC 2012

4-stage CS-CS LNA



デカップリング用 MIM TL

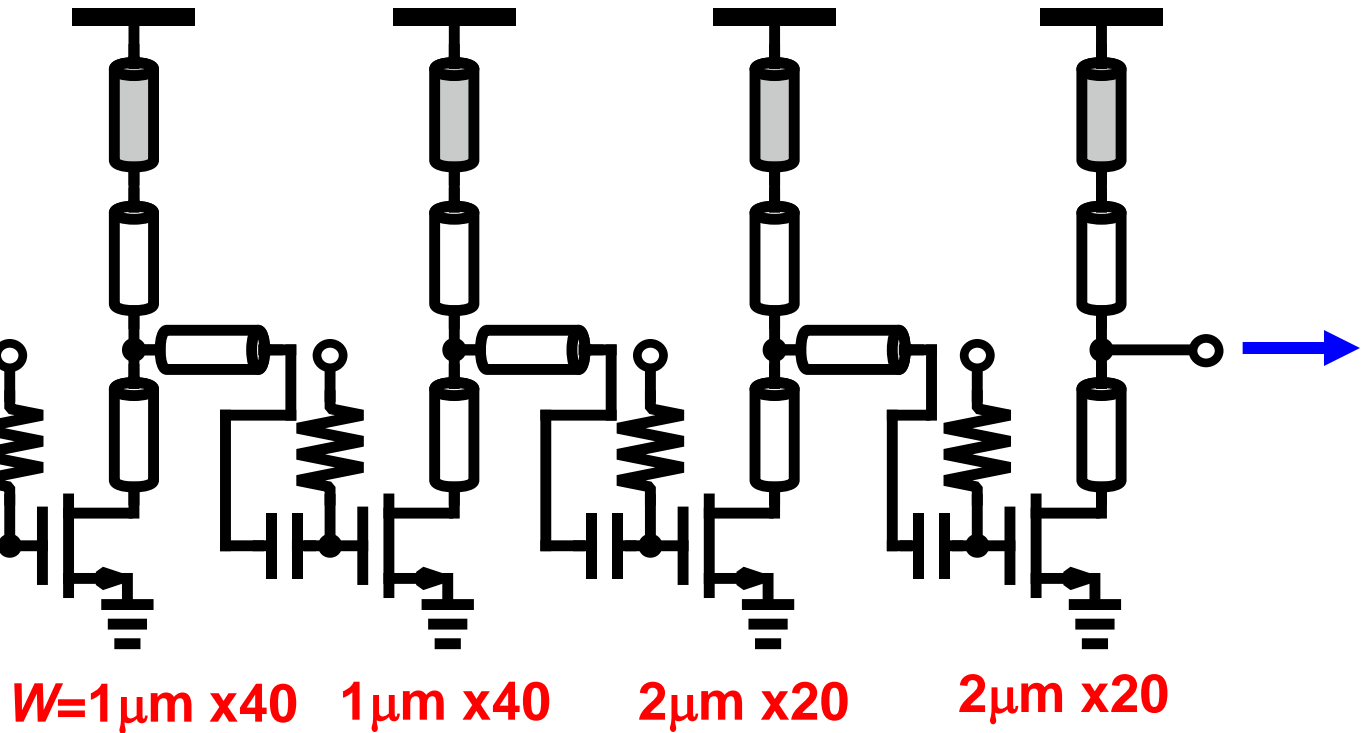


TL

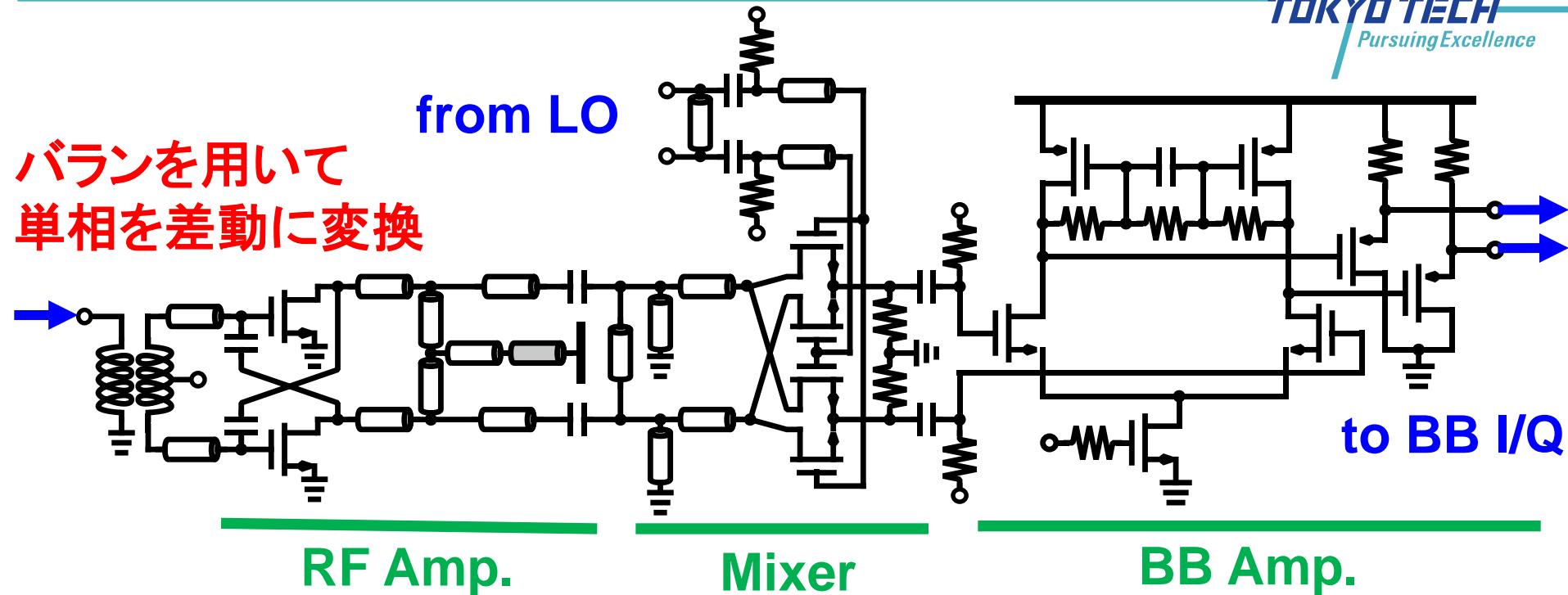
ESD保護



アンテナ
から入力

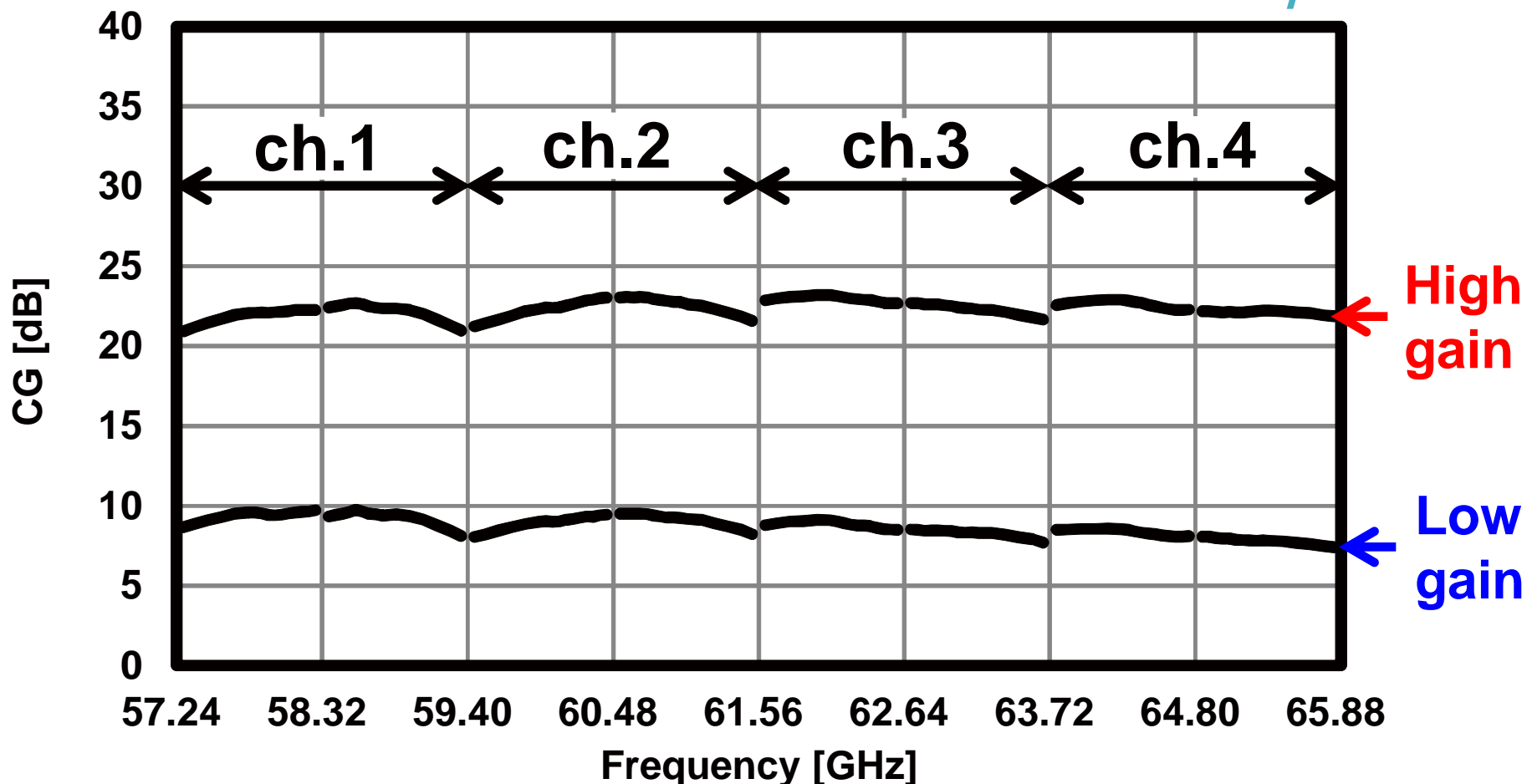


- 波長に対し素子の大きさが無視できないため伝送線路(TL)を使用
- 非対称Trを使用し、ゲートドレイン容量 C_{gd} を低減
- ゲートバイアスを変化させ、可変利得を実現

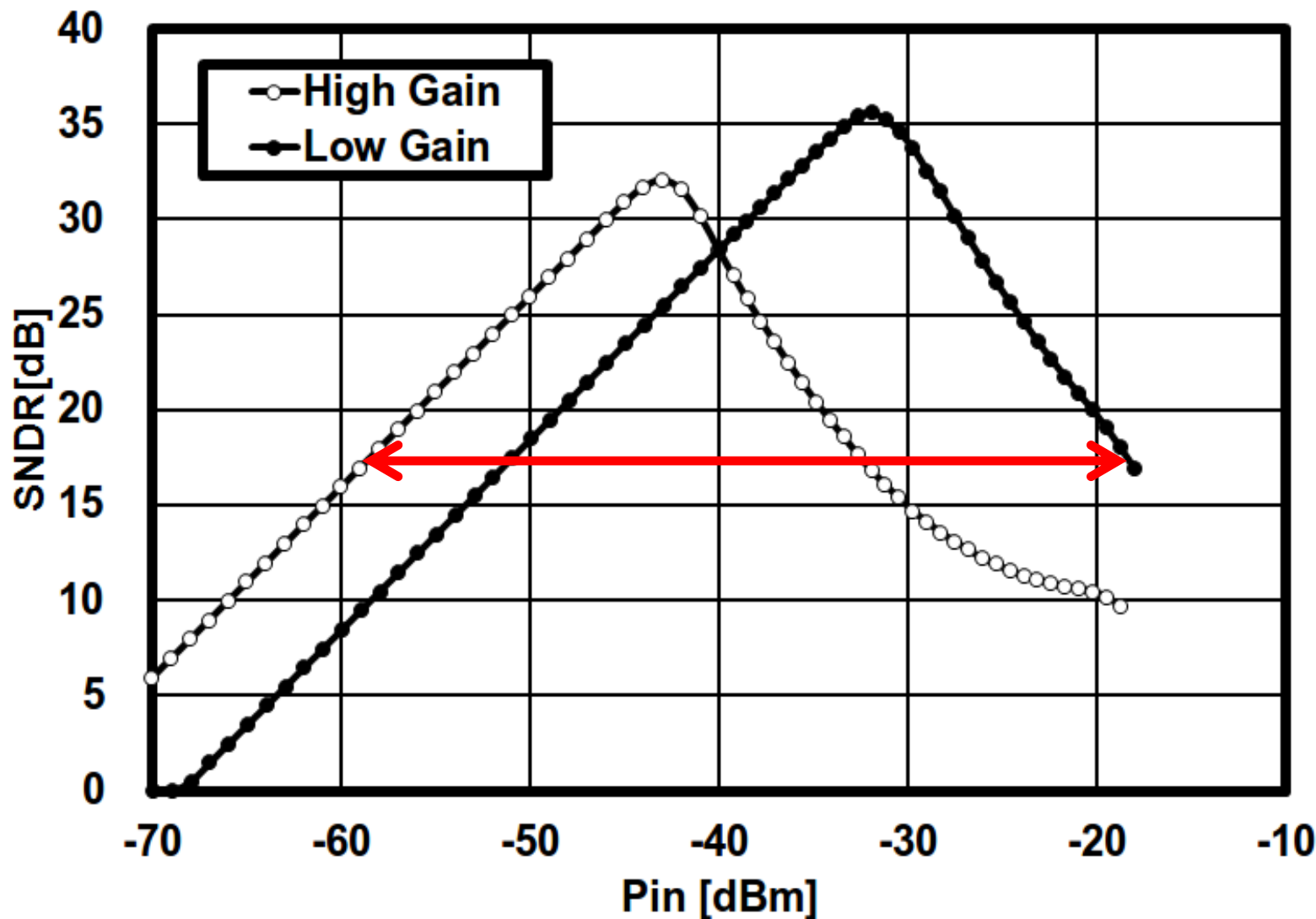


- バランでの損失を補うため差動増幅器を使用
- 同相信号を落とすためマッチングブロックを工夫
- キャパシティブクロスカップルによりゲートドレイン間容量を低減
- 利得の平坦性を補償するためBBAMPでゲインピーキング手法を使用

- 研究背景・目的
- ダイレクトコンバージョン方式
 - 4段低雑音増幅器
 - ダウンコンバージョンミキサー
- **測定結果**
 - 変換利得
 - 変調特性
 - 性能比較
- まとめ

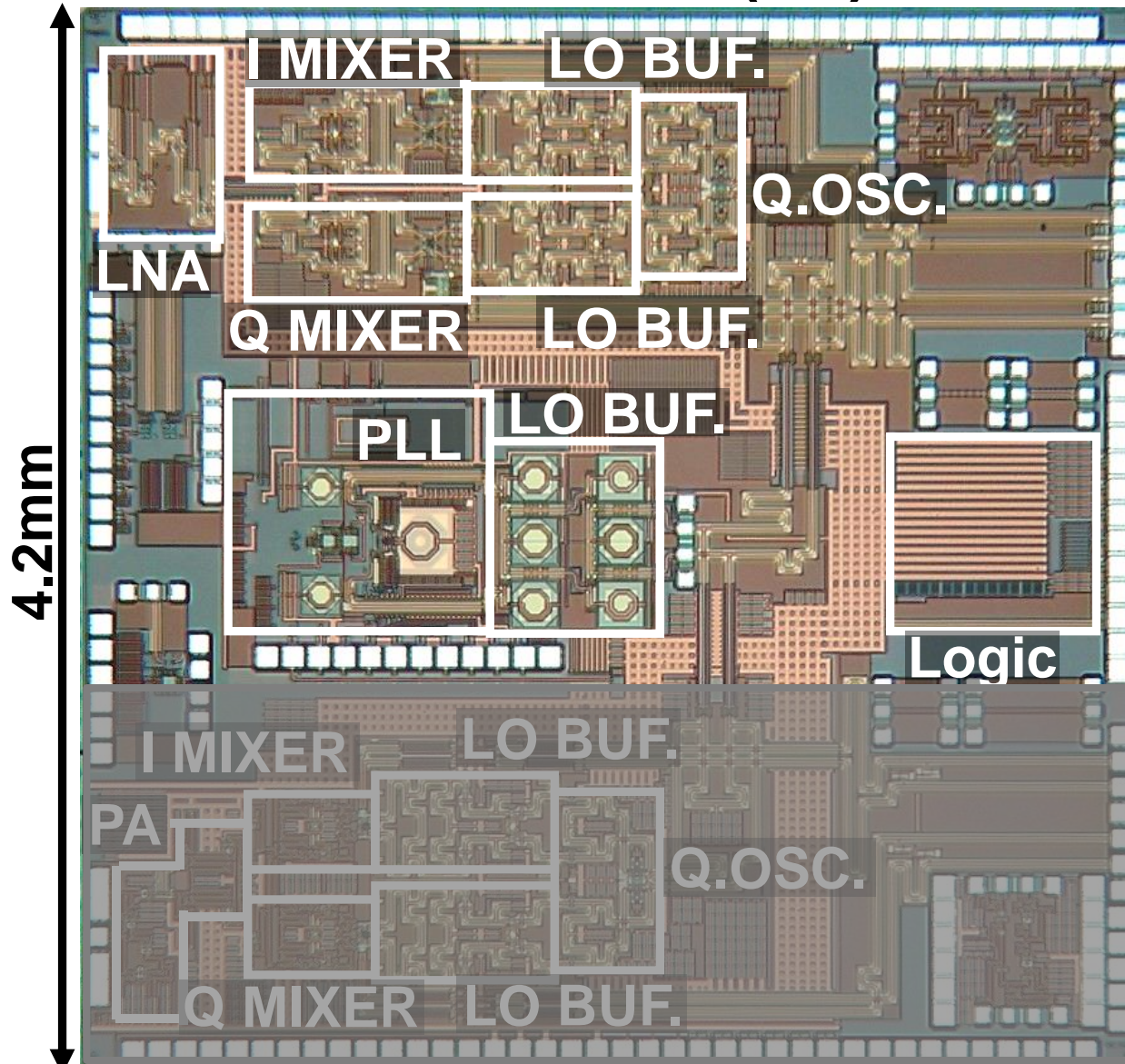


全チャンネルで良好な利得平坦性を実現(worst:1dB)

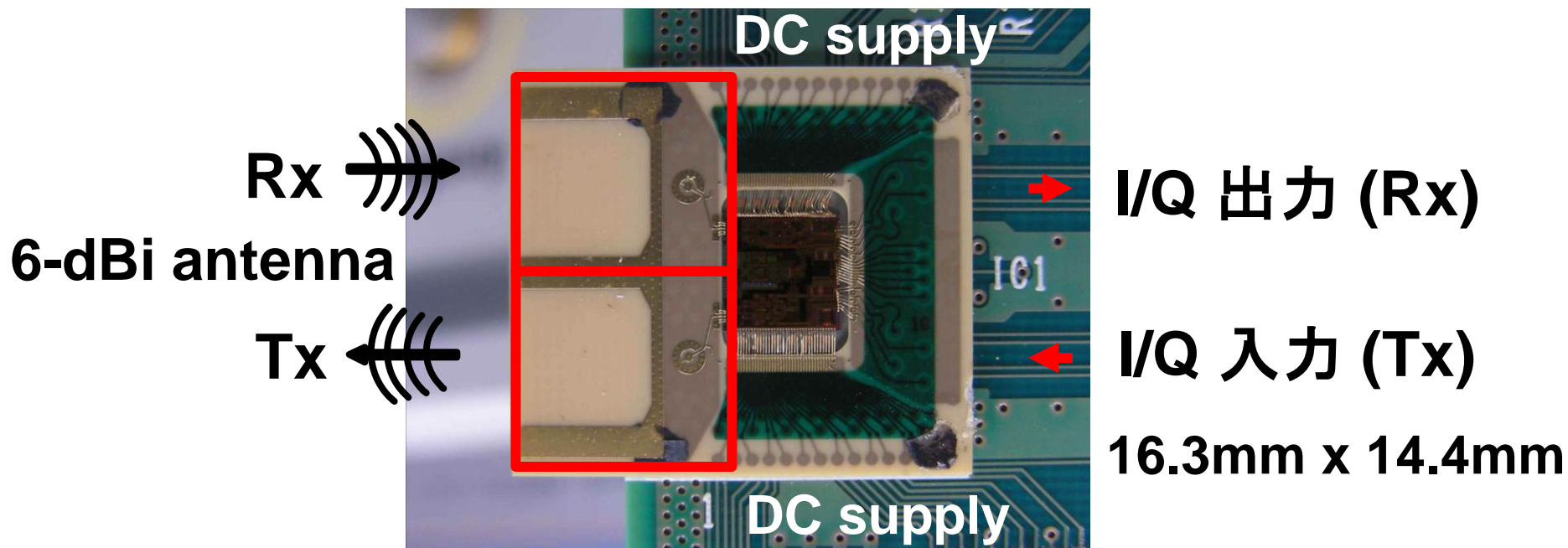
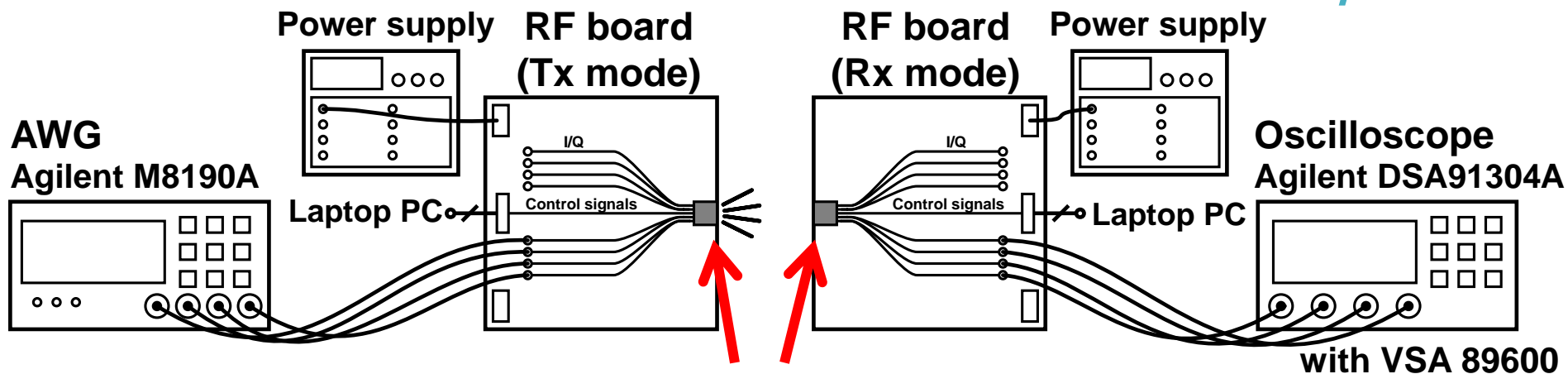


16QAMでの通信には**SNDR>17.2dB**が必要



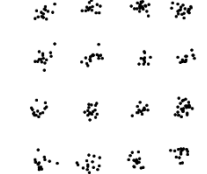

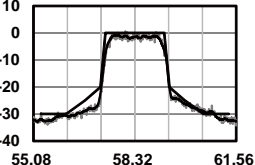
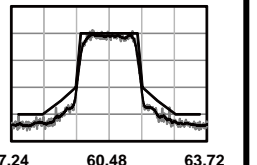
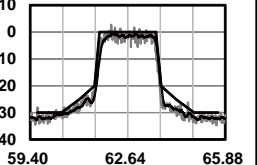
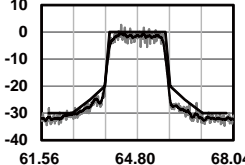
65nm CMOS (RF)



65nm CMOS
Rx:1.77mm²
PLL:1.37mm²
Logic:0.38mm²



変調特性(16QAM)

Channel	ch.1	ch.2	ch.3	ch.4
Constellation				
Spectrum				
Back-off	4.4dB	4.6dB	5.0dB	5.7dB
Data rate*	7.0Gb/s	7.0Gb/s	7.0Gb/s	7.0Gb/s
EVM**	-23.0dB	-23.0dB	-23.3dB	-22.8dB
Distance***	0.3m	0.5m	0.5m	0.3m

*ロールオフ値: 0.25 , 帯域幅:2.16GHz(Max rateを除く)

**EVMはTRxのボードを通した値

***BER10^{-3}の条件で測定

	Arch.	Max. rate in 16QAM	Distance for BER 10^{-3}	P_{DC} (Tx/Rx) *PLLを含む
Tokyo Tech [2]	Direct	11Gb/s [2] 16Gb/s [5]	ch.1-2 (EVM < -17dB) 2.7m (BPSK/QPSK) 0.2m (8PSK/16QAM)	252mW / 172mW
CEA- LETI [6]	Hetero	7Gb/s	—	1,357mW / 454mW
SiBeam [7]	Hetero	7Gb/s	ch.2-3 (EVM < -19dB) 50m (LOS) 16m (NLOS)	1,820mW / 1,250mW
This work[3]	Direct	10Gb/s	ch.1-4 (EVM < -23dB) 1.3-1.6m (QPSK) 0.3-0.5m (16QAM)	319mW / 223mW

[2] K. Okada, *et al.*, ISSCC 2011 [3] K. Okada, *et al.*, ISSCC 2012

[5] H. Asada, *et al.*, A-SSCC 2011

[6] A. Siligaris, *et al.*, ISSCC 2011 [7] S. Emami, *et al.*, ISSCC 2011

- **世界初**の60GHz帯全4チャンネル16QAM変調対応受信回路を実現
- QPSKで8Gb/s、16QAMで**10Gb/s**の通信速度を達成
- 全チャンネルを通じ利得の平坦性を**1dB**以内に抑制
- 223mWという、従来研究に比べ大幅な低消費電力化に成功

Thank you for your attention.

Backup slides

Tx	
CG	18dB
P_{1dB}	-2dBm
P_{sat}	5.6dBm

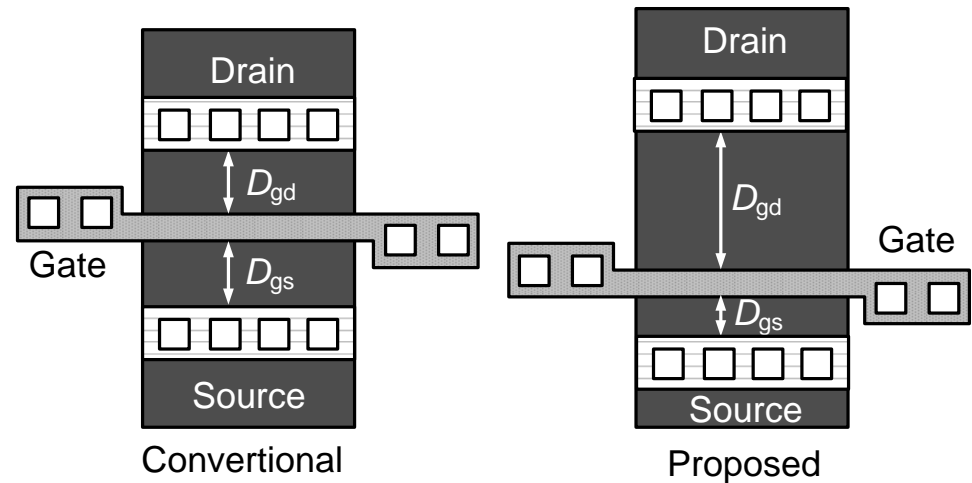
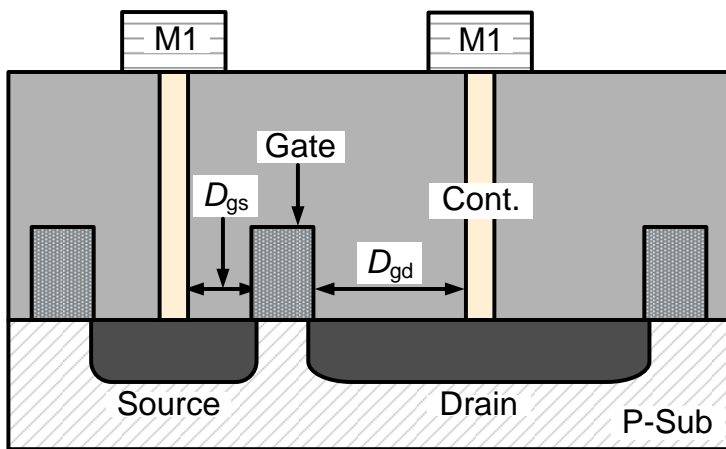
Rx	
CG	23dB (high-gain mode) 9dB (low-gain mode)
NF	< 4.9dB (high-gain mode)
IIP3	-14dBm (low-gain mode)

LO	
Injection PLL	19.44, 20.16, 20.88, 21.60GHz
Ref. spur	<-58dBc @ 20.16GHz
Locking range	1.4GHz
Quadrature ILO	58.0-64.7GHz (free-run)
Phase noise@1MHz-offset	< -95dBc/Hz (every channel)

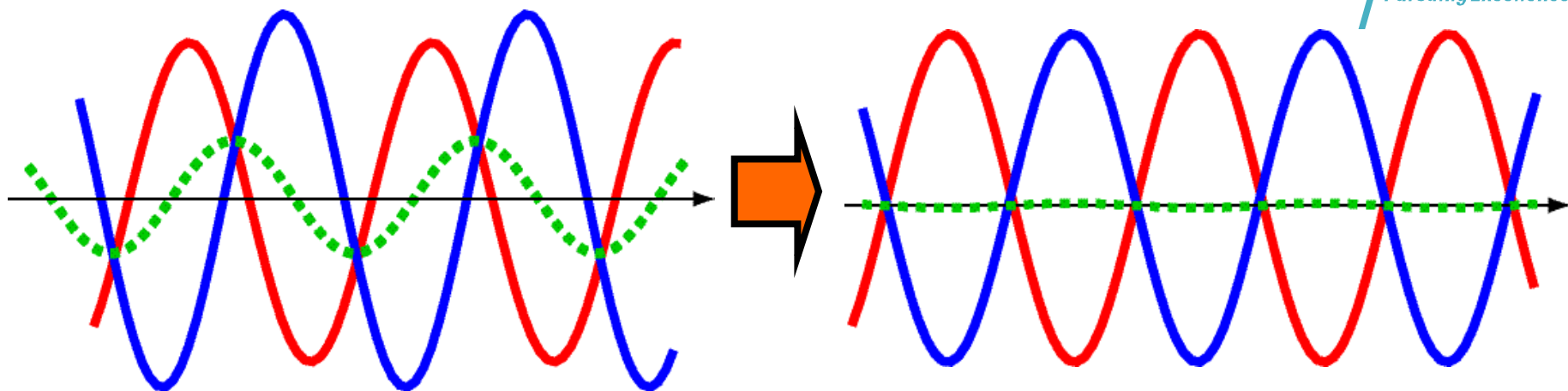
RF chip	65nm CMOS	
	Area	P _{DC} (1.2V)
Tx	1.96mm²	257mW
Rx	1.77mm²	162mW
PLL	1.37mm²	61mW
Logic	0.38mm²	0.4mW

Modulation	QPSK	16QAM
Distance	1.5m	0.5m
Data rate (2.16GHz-BW)	3.1Gb/s	6.3Gb/s
Tx output	6.0dBm	
Back-off	4.0dB	5.0dB
Tx/Rx antenna gain	6.0dBi	
Implementation loss	-3.0dB	
NF	6.0dB	
Received CNR	14.0dB	22.5dB
Margin	+4.6dB	+4.3dB

- ミリ波においてゲートドレイン間容量はTrのf特劣化に影響する
- MAG向上のためにゲートドレイン間距離を小さくし、容量を減らす



- D_{gd} : ゲートドレイン間距離
- D_{gs} : ゲートソース間距離






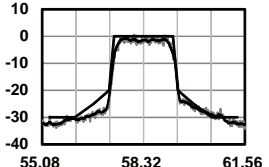
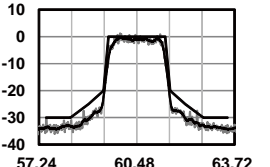
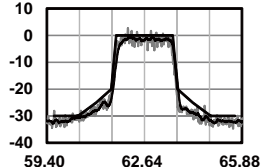
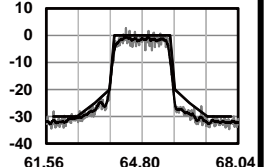
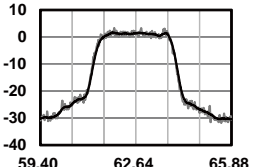


- CMRRが高いと差動ミスマッチを減らすことができる

CMRR \ amplitude	5dB	15dB
4%	2.1%	0.7%
10 %	5.2%	1.7%

CMRR \ phase	5dB	15dB
8°	4.5°	1.4°
20°	11°	3.5°

7.0Gb/s 16QAM (max 10Gb/s)

Channel	ch.1	ch.2	ch.3	ch.4	Max rate
Constellation					
Spectrum					
Back-off	4.4dB	4.6dB	5.0dB	5.7dB	5.0dB (ch.3)
Data rate*	7.0Gb/s	7.0Gb/s	7.0Gb/s	7.0Gb/s	10.0Gb/s (ch.3)
EVM**	-23.0dB	-23.0dB	-23.3dB	-22.8dB	-23.0dB (ch.3)
Distance***	0.3m	0.5m	0.5m	0.3m	>0.01m (ch.3)

*ロールオフ値: 0.25, 帯域幅:2.16GHz(Max rateを除く)

**EVMはTRxのボードを通した値

***BER<10⁻³の条件で測定

3.5Gb/s QPSK (max 8Gb/s)

Channel	ch.1	ch.2	ch.3	ch.4	Max rate
Constellation					
Spectrum					
Back-off	3.8dB	3.9dB	4.4dB	5.0dB	4.4dB (ch.3)
Data rate*	3.5Gb/s	3.5Gb/s	3.5Gb/s	3.5Gb/s	8.0Gb/s (ch.1-ch.4)
EVM**	-21.2dB	-21.6dB	-21.4dB	-20.1dB	-17.3dB (ch.3)
Distance***	1.3m	1.4m	1.6m	1.6m	>0.01m (ch.3)

*ロールオフ値: 0.25 , 帯域幅:2.16GHz(Max rateを除く)

**EVMはTRxのボードを通した値

***BER10^{-3}の条件で測定。アンテナは6dBiの利得を持ち、パッケージングされている。