

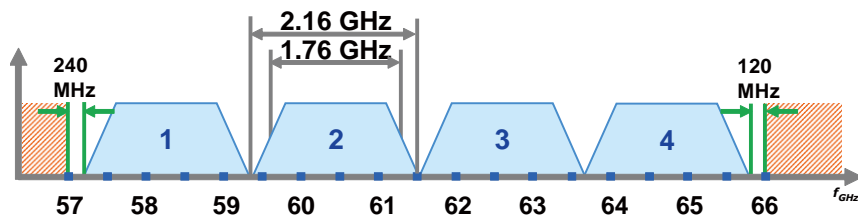
# 60GHz帯無線機に向けた 直交局部発振器の研究

○竹内 康揚, Musa Ahmed, 佐藤 高洋,  
山口 達也, 岡田 健一, 松澤 昭

東京工業大学 大学院理工学研究科

- 研究背景
- 60GHz局部発振器の課題
- 提案する回路の構成
- 測定結果
- まとめ

Channel Number	Low Freq. (GHz)	Center Freq. (GHz)	High Freq. (GHz)	Nyquist BW (GHz)	Roll-Off Factor
A1	57.24	58.32	59.40	1.76	0.25
A2	59.40	60.48	61.56	1.76	0.25
A3	61.56	62.64	63.72	1.76	0.25
A4	63.72	64.80	65.88	1.76	0.25



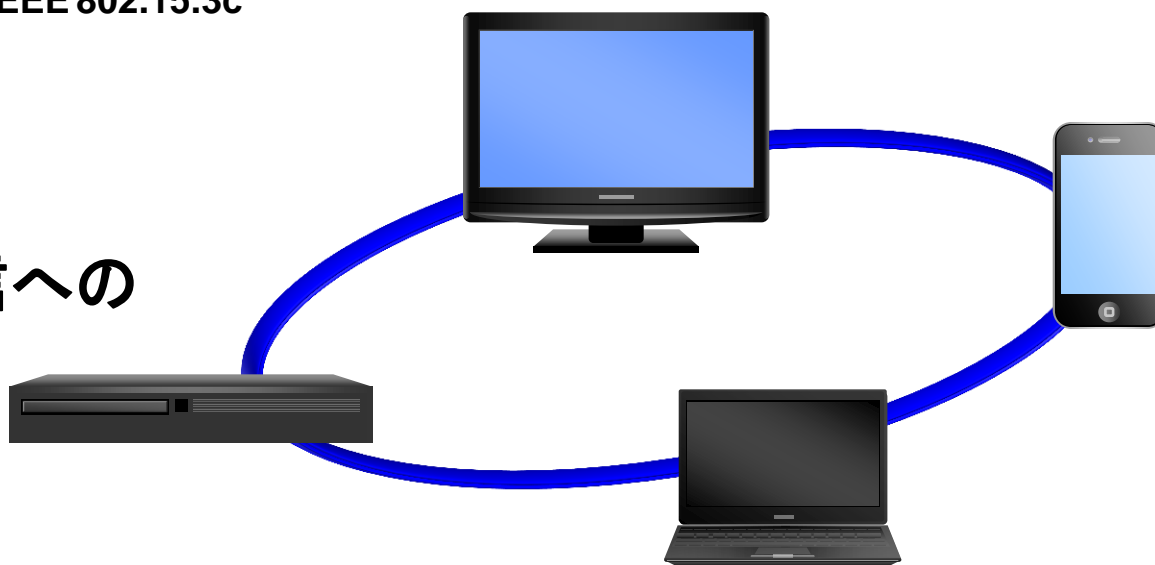
[1] IEEE 802.15.3c

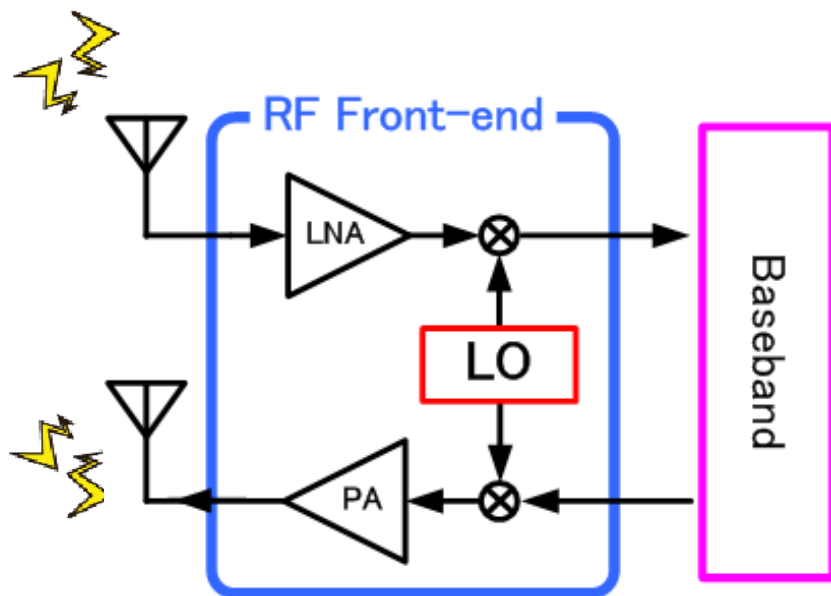
60GHz帯では数Gbps以上の通信が可能

IEEE 802.15.3c

- ・QPSK  $\Rightarrow$  3.5Gbps x 4ch
- ・16QAM  $\Rightarrow$  7Gbps x 4ch

近距離高速無線通信への  
応用が期待される





回路の構成要素が少なく、  
低消費電力化を実現可能な  
ダイレクトコンバージョン  
方式を採用

## 60GHz帯局部発振器(LO)に要求される性能

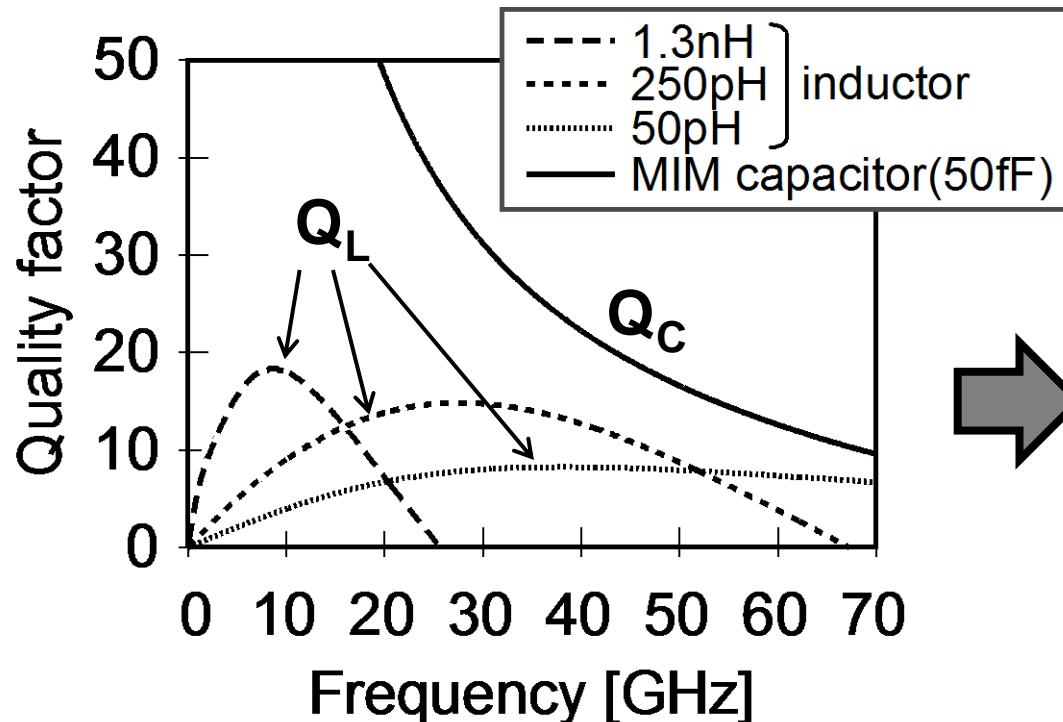
- ✓ 周波数帯域 **57~66GHz**
- ✓ 位相雑音 **-90dBc/Hz@1MHz Offset [2]**
- ✓ 直交位相出力 **0°, 90°, 180°, 270°**

[2] K. Okada, ISSCC 2011

## • 位相雑音の増加

- LC-VCOの位相雑音は共振器のQ値が支配的
- 表皮効果により受動素子のQ値が減少
- 従来研究[3]では-75dBc/Hz@1MHz-offset

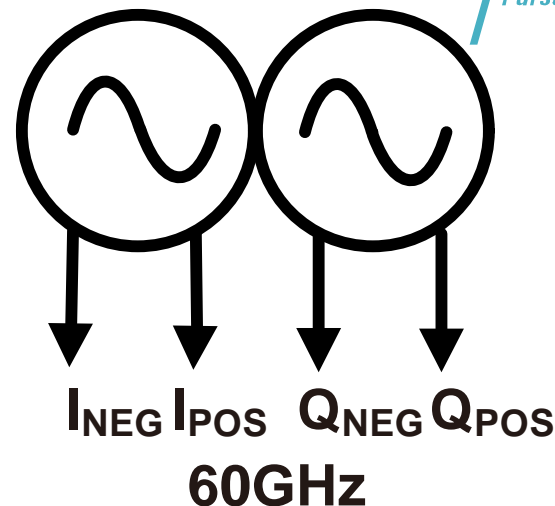
[3] K. Scheir, ISSCC 2009



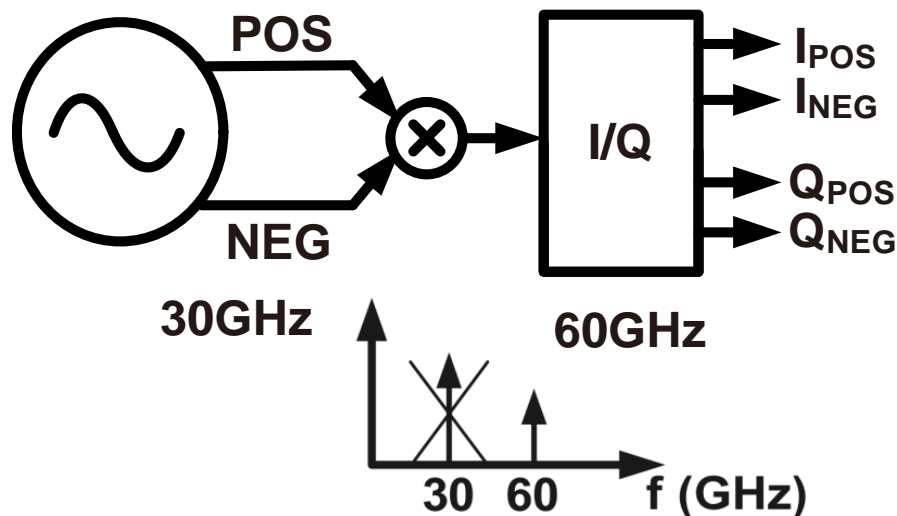
低位相雑音かつ  
広帯域なLOの  
実現は**困難**

## • 直接発振

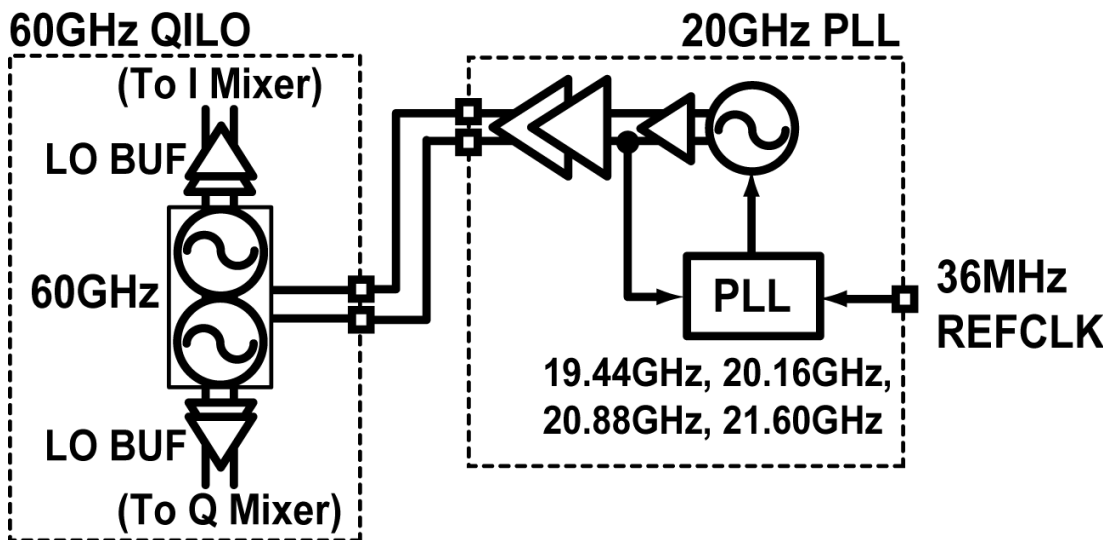
- 😊 直交位相出力
- ☹️ 60GHz帯ではQ値が低く、  
低位相雑音と広帯域の両立  
が困難



## • 二次高調波を利用する(push-push)



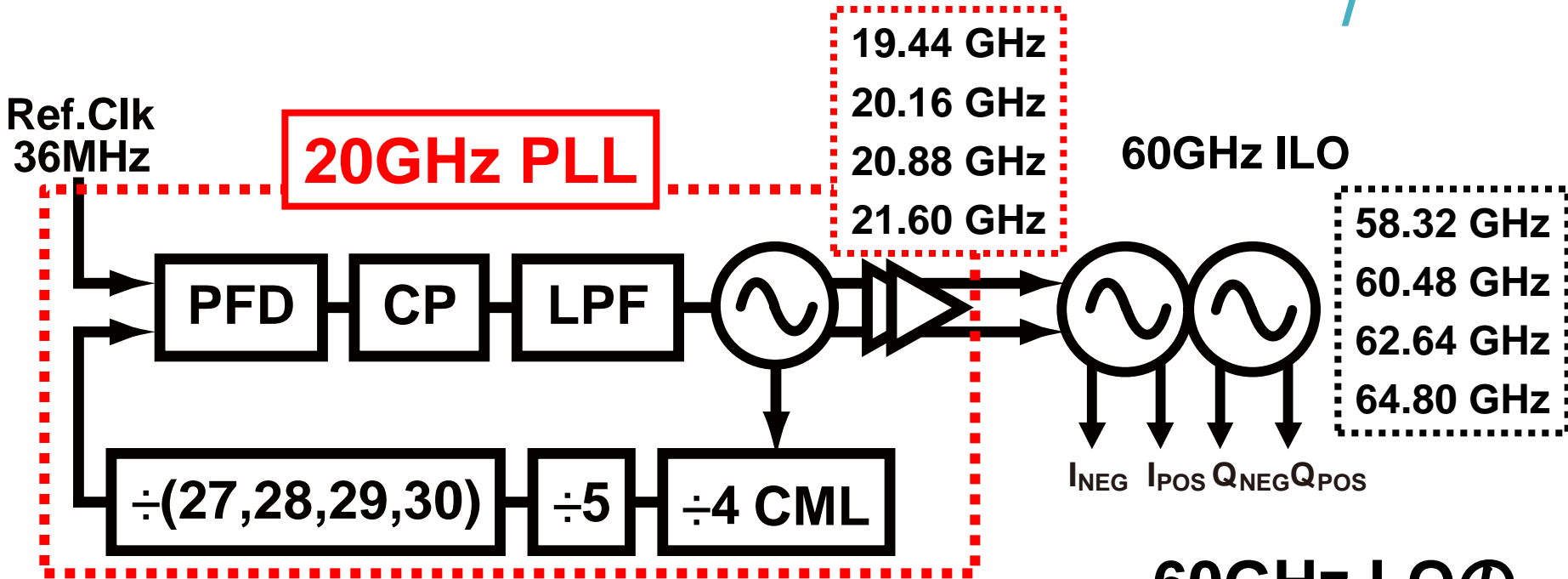
- 😊 低雑音・広帯域をある程度  
両立し易い
- ☹️ 出力電力が小さい
- ☹️ 直交出力を得るために  
ポリフェーズフィルタが必要



## 20GHz PLLと60GHz 注入同期型周波数逓倍器(ILO)の組み合わせにより広帯域での出力と低位相雑音を実現

- ☺ 基本信号は20GHzで生成するため  
60GHzに比べ低位相雑音と広帯域の両立が容易
- ☺ 差動逓倍器を2つ結合させることで直交位相出力が可能

# 20GHz PLLの構成



## 20GHz PLLの目標性能

位相雑音 : **-100 dBc/Hz**  
@1Mhz Offset

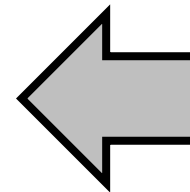
周波数帯域 : **19~22 GHz**

## 60GHz LOの

## 要求性能

-90 dBc/Hz  
@1MHz Offset

**57~66 GHz**

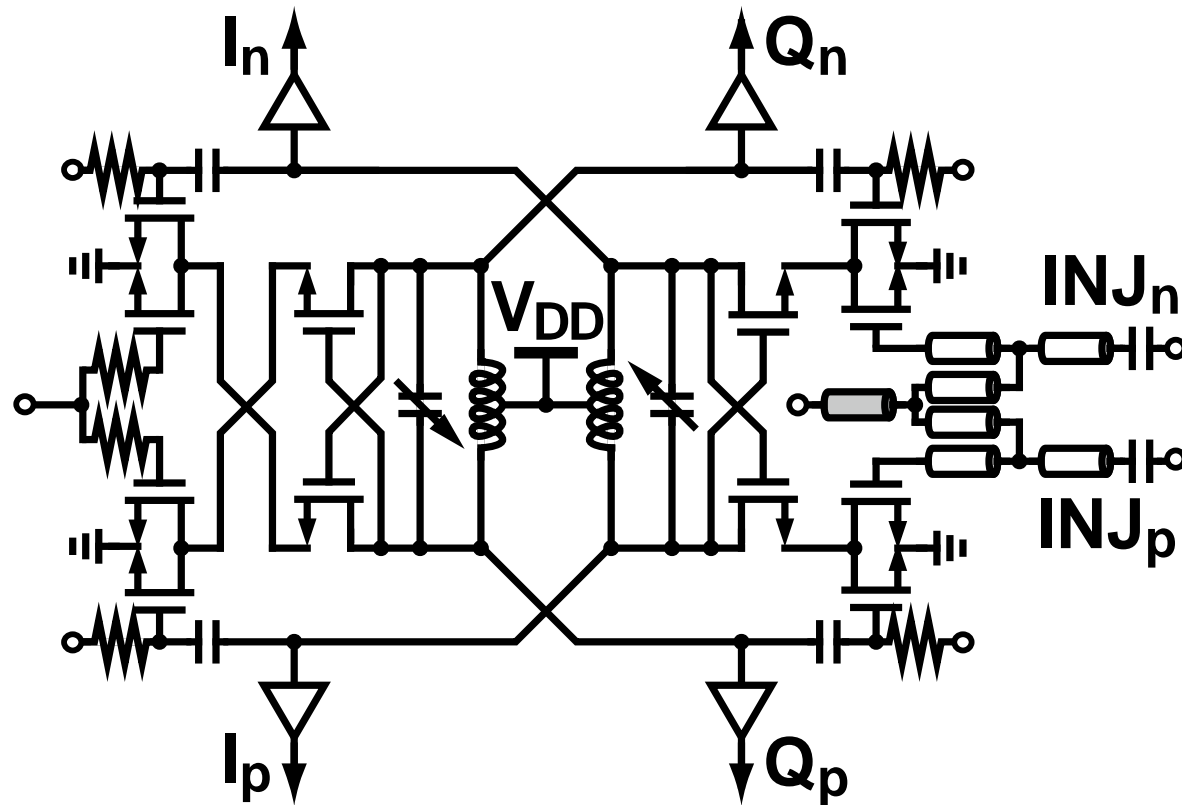




# 測定結果 (20GHz PLL)

	This Work	Target
VCO range [GHz]	18.1~21.6	19.0~22.0
PLL Output Frequency [GHz]	19.44, 20.16, 20.88, 21.60	19.44, 20.16, 20.88, 21.60
Phase noise @1MHz Offset [dBc/Hz]	<-105	-100
Output type	Differential	Differential

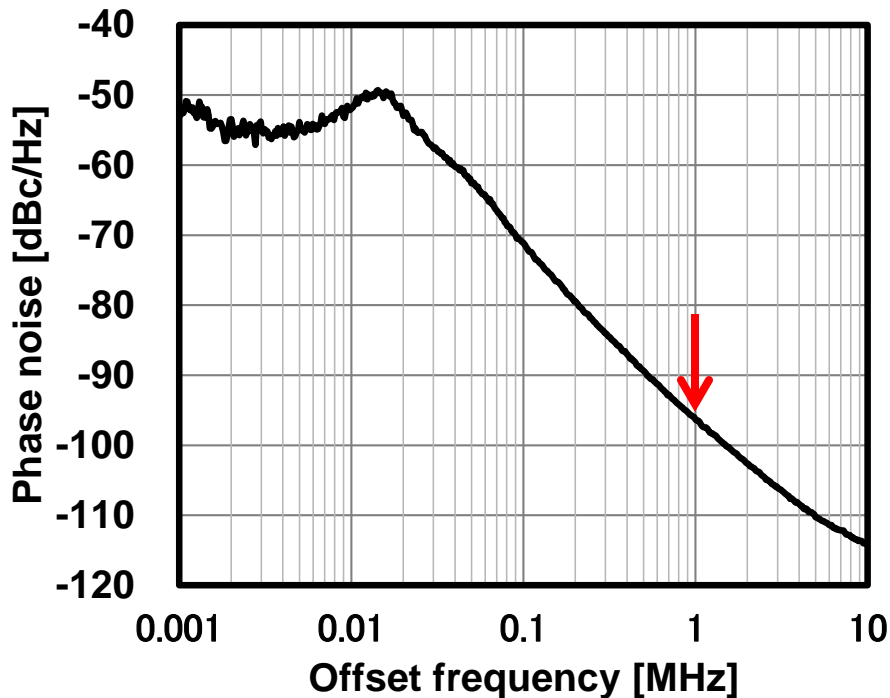
位相雑音、周波数帯域の双方で目標性能を達成



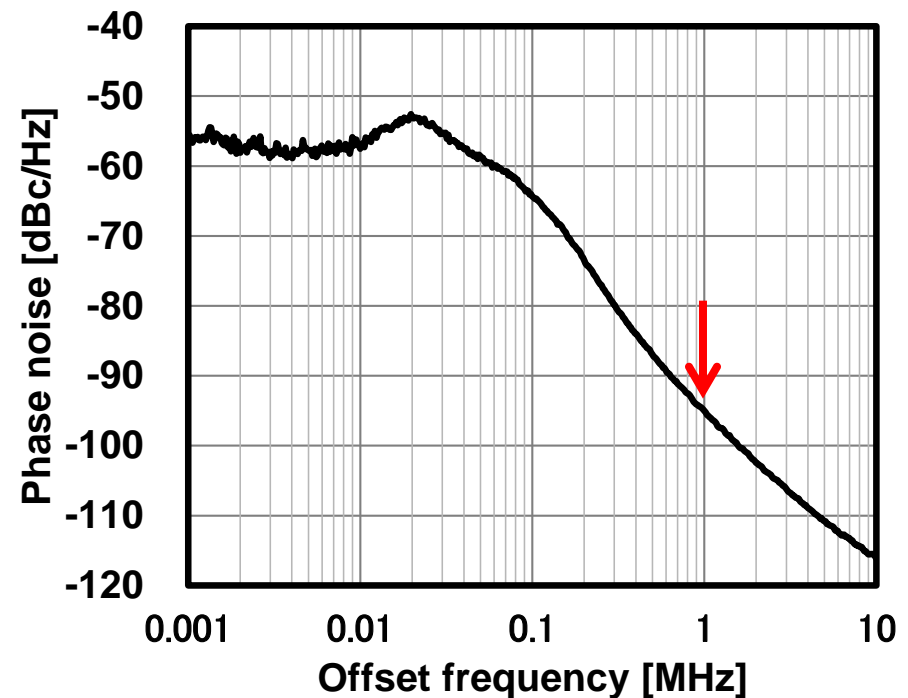
- 20GHz PLLからの信号をILOのテールトランジスタに注入
- 差動出力のILOをテールトランジスタを介して2つ結合させることにより直交4相出力を実現

- 全チャネルで  $< -95\text{dBc/Hz}@1\text{MHz-offset}$ を達成

Ch.1: 58.32GHz

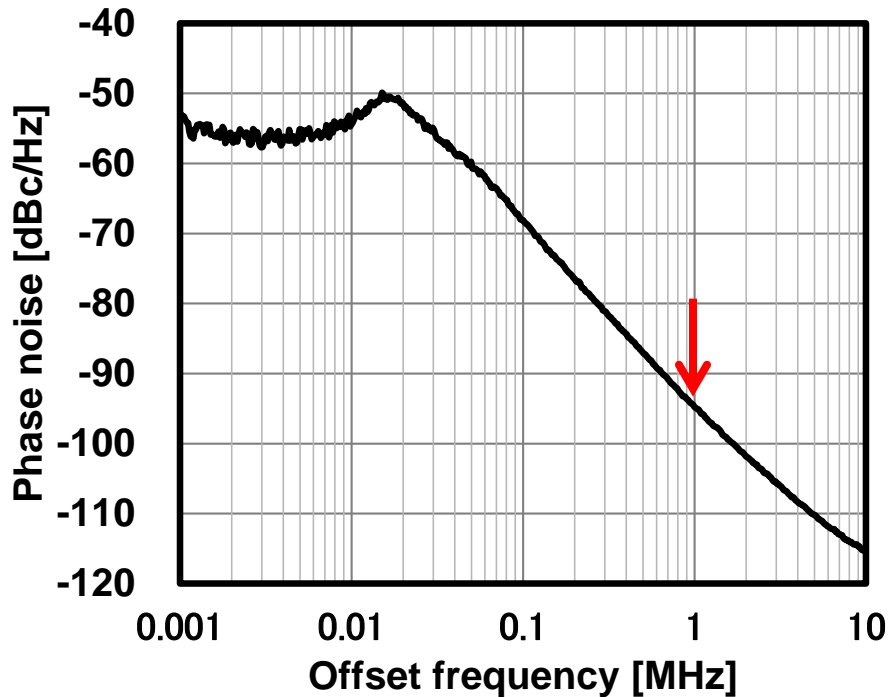


Ch.2: 60.48GHz

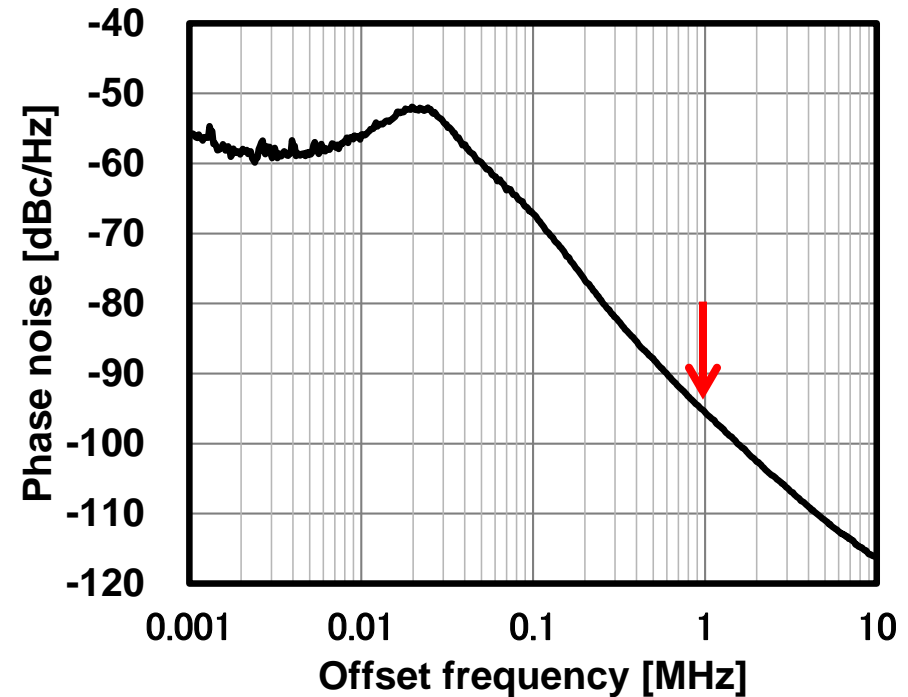


- 全チャネルで  $<-95\text{dBc/Hz}@1\text{MHz}\text{-offset}$ を達成

Ch.3: 62.64GHz

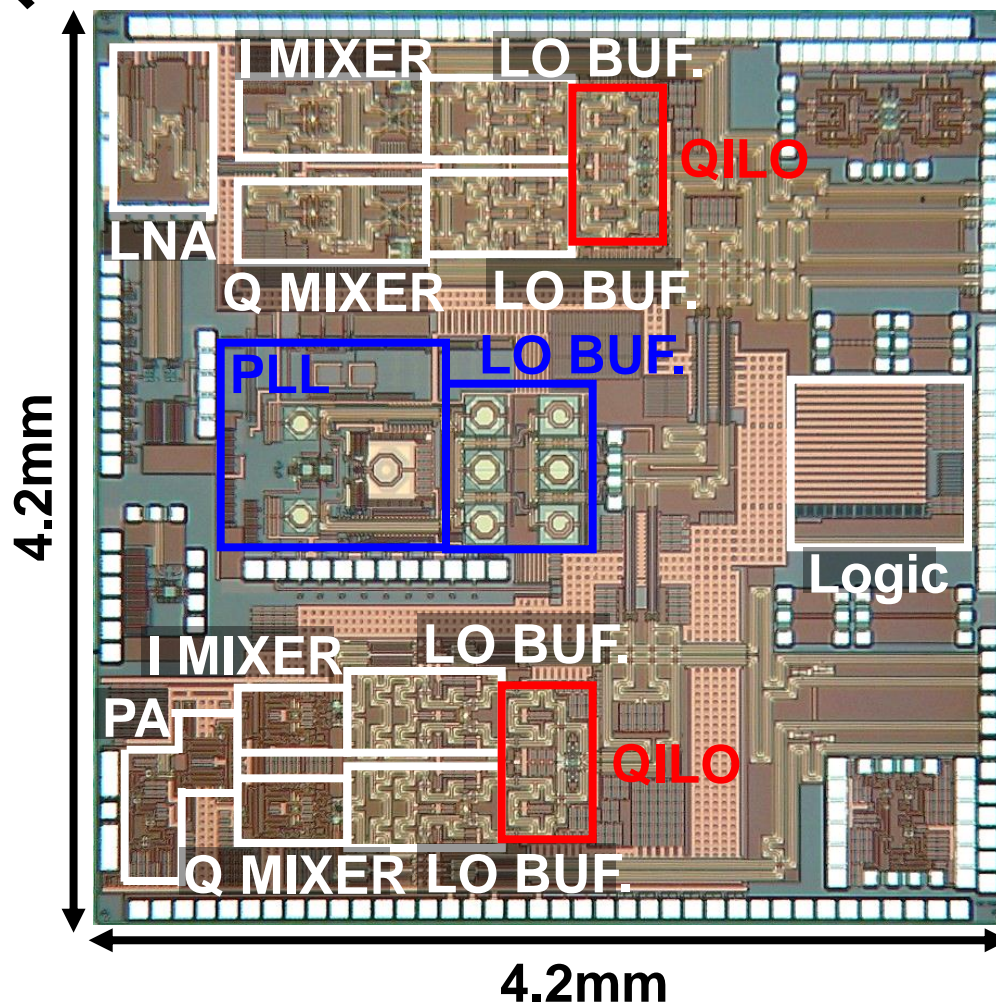


Ch.4: 64.80GHz



※Ch.4のみVDD=1.4V

- CMOS 65nmプロセス
- 回路面積
  - PLL: 1.37 mm<sup>2</sup>
  - QILO: 0.53 mm<sup>2</sup>



# 性能比較 (60GHz LO)

	Target	This Work	[4]	[2]	[3]
$f_{\text{ref}}$ [MHz]	(36.0)	36.0	36.0	36.0	100.0
VCO range [GHz]	58.32, 60.48, 62.64, 64.80	58.32, 60.48, 62.64, 64.80	58.32, 60.48, 62.64	54 ~ 61	57.0~66.0
Phase noise @1MHz-offset [dBc/Hz]	<90.0	<-95 (All 4-ch.)	-95.2 ~ -96.0	-94.2	-75.0
Power [mW]	-	106.3	79.9 ~ 118.3	90.4	78.0
Output type	Quad.	Quad.	Quad.	Quad.	Quad.

[4] A. Musa, JSSC 2011 [2] K. Okada, ISSCC 2011 [3] K. Scheir ISSCC 2009

**60GHz帯直交局部発振器の全目標性能を実現  
全チャネルで16QAMの通信を実現(送受信回路)**

- 60GHz帯ダイレクトコンバージョン型無線送受信機の局部発振器として20GHz PLLと60GHz ILOを組み合わせた構成を提案
- 60GHz帯局部発振器で以下の性能を達成
  - 広帯域: IEEE802.15.3cに定められた**全4chを出力**
  - 低位相雑音: 全chにおいて **$<-95\text{dBc/Hz}$** @1MHz Offset
- これを用いた送受信回路において**全chで規格に基づく16QAMでの通信を実現**