

# 基本の増幅回路

— 教科書の最初に出てくるOPAMP —



ISHI会三周年記念イベント  
Shuntaro OHNO



## 第2章

### 「基本の増幅回路 — MOSFETからはじめるオペアンプ設計」

に書いた内容を紹介します。

# 本日の流れ

16:10-16:30	同人誌完成記念講演1	Shuntaro OHNO	基本の増幅回路 差動増幅 OPAMP (教科書の最初に出てくる OPAMP)	半導体チップでOPAMPを作る場合、MOSFETのレベルから自由に性能設計を行うことができます。ここでは素子の設計から始めて、OPAMPのレイアウトを行うまでの流れを示します。
16:30-16:50	同人誌完成記念講演2	Maehashi	すべての基準 参照電流源回路 (CS) - 参照電圧源回路 (BGR)	様々な環境下でアナログ回路を正確に動作させるためには、正確さの拠り所となる参照電流 (電圧) 源回路が必要です。これらは一体どんなもので、どう設計すればいいのか? 基本的な回路を通じて体験していこうと思います。
16:50-17:10	同人誌完成記念講演3	Yutaka KOTANI	電子と時間 (クロック源) 電圧制御発振器 VCO	クロック信号源として使用可能なVCOの回路構成、動作の仕組み、回路設計、特性評価、評価結果、実際のICチップ上でのレイアウトについて解説します。VCOを設計したことがない人でもわかりやすいように可能な限り単純な回路構成とします。一方で、実際にICチップを製造するため、他の回路と組み合わせ使用しやすく、実用的な性能を目指します。
17:10-17:30	同人誌完成記念講演4	Xian DIY (uedagen)	OPAMP 作ってみた!	前回ISHI会の「初めての半導体設計・製造体験! 一日で作るインバータ回路」に参加して、無事インバータ回路を作ることができました。今回は、レベルアップしてオペアンプの設計にチャレンジしました。オペアンプの場合は回路のサイズが大きくなるので、3~5人程度のグループワークになります。毎週1回程度Discoardに集まって設計を進めて行きました。やはりインバータとは異なり求められる理論的部分が多く、期限に間に合わせるのが大変でしたが、毎週集まることで進捗が出せたかなと思います。最初に断っておきますが、設計したオペアンプは動きませんでした (泣) うんともすんとも言わないのは悔しいところです。
17:30-17:50	同人誌完成記念講演5	Munetomo	ICチップ設計の醍醐味! CPUの論理設計	論理設計の王道は自分でCPUを作ることです。ここではシンプルな命令セットのpicoCPUを定義して、ハードウェア記述言語System VerilogでのRTL記述方法を解説し、論理シミュレーションで動きを追ってみましょう。また、世界初のマイクロプロセッサ4004と、シンプルな完全チューリングマシンをTiny Tapeoutで実シリコン化する試みを紹介します。
17:50-18:10	同人誌完成記念講演6	Masahiro	ロケット向けGPSシステムについて	鹿児島大学ロケット向けにGPSシステムを実装してみた話
18:10-18:40	愛の説教部屋	久保木先生/広島大学	レビュー会	皆さんが持ち寄った回路図やレイアウトのレビューを行います。

← イマココ (伏線)

← 伏線回収

久保木先生のコメントが  
記載されたリポジトリ↓

[https://github.com/kuboki-takeshi/opamp\\_ishikai\\_2026-05-06](https://github.com/kuboki-takeshi/opamp_ishikai_2026-05-06)



2025年09月 イベント：二日でOPAMP回路ハンズオン

参加記録



# connpassページの募集内容（実話）

- 【チップ製造（あり）枠参加資格】（なし枠での条件は「2」と「3」のみとなります）
  - 2日連続で10-18時で参加できる方
  - オープンソース半導体のEDAツールの使い方は理解している方
  - テスト運用と理解して参加してもらえる方
  - レイアウトは自宅で一週間以内に完成される方

!!!特大注意!!!テスト運用ということもあり、スパルタハンズオンとなります。ついていけないと判断した人は、容赦なく切り捨てていきます。理由は、「どのレベルくらいの方」が「どのくらいのレベルの解説をすると付いてこれなくなるのか?」を探るためのテスト運用となるためです。その条件であると理解して参加してください。

[九州大学大学院システム情報科学府附属価値創造型半導体人材育成センターが主催する2025年度実習シリーズ](#)向けのOPAMPコースのテスト運用の形で実施されます。

そのため、ハンズオンとしてはまだ未完成の状態であるためかなりの不備が出るのが想定されます。そのため、その辺りが理解できる方のみご参加ください。

また、テスト運用のためレイアウトまで終わらない可能性が高く、レイアウトは自宅でやっていただく可能性が高いです。そのため、レイアウトを一週間以内に完成させて、提出してもらえることも条件となります。

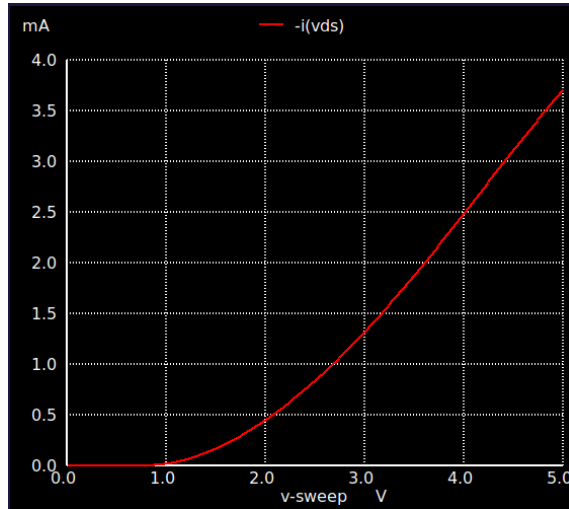
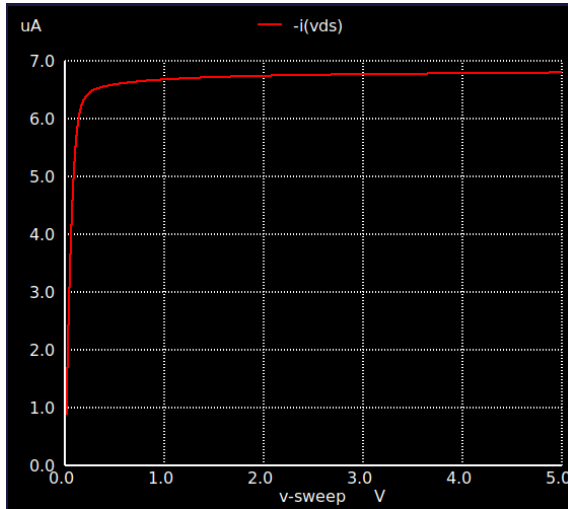
???



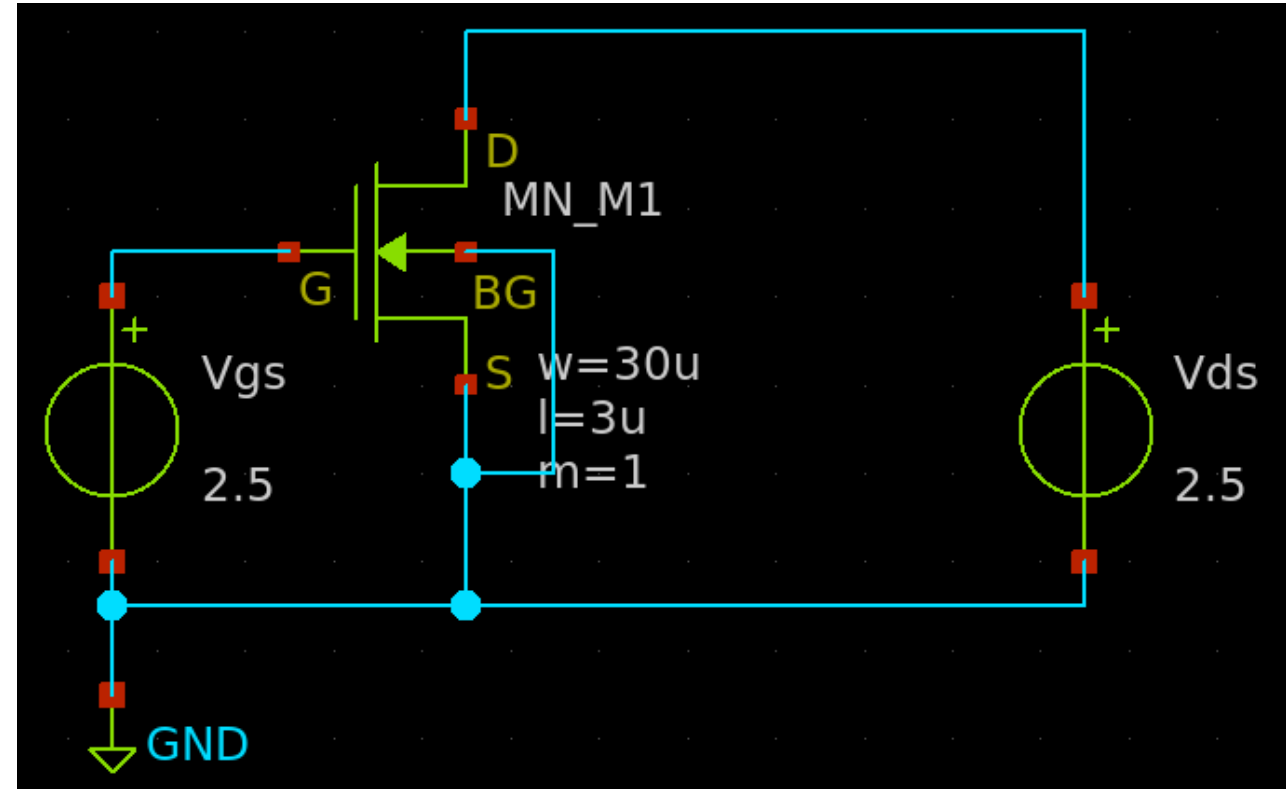
# MOSFETからOPAMPを設計する



# xschemでMOSFETを設計



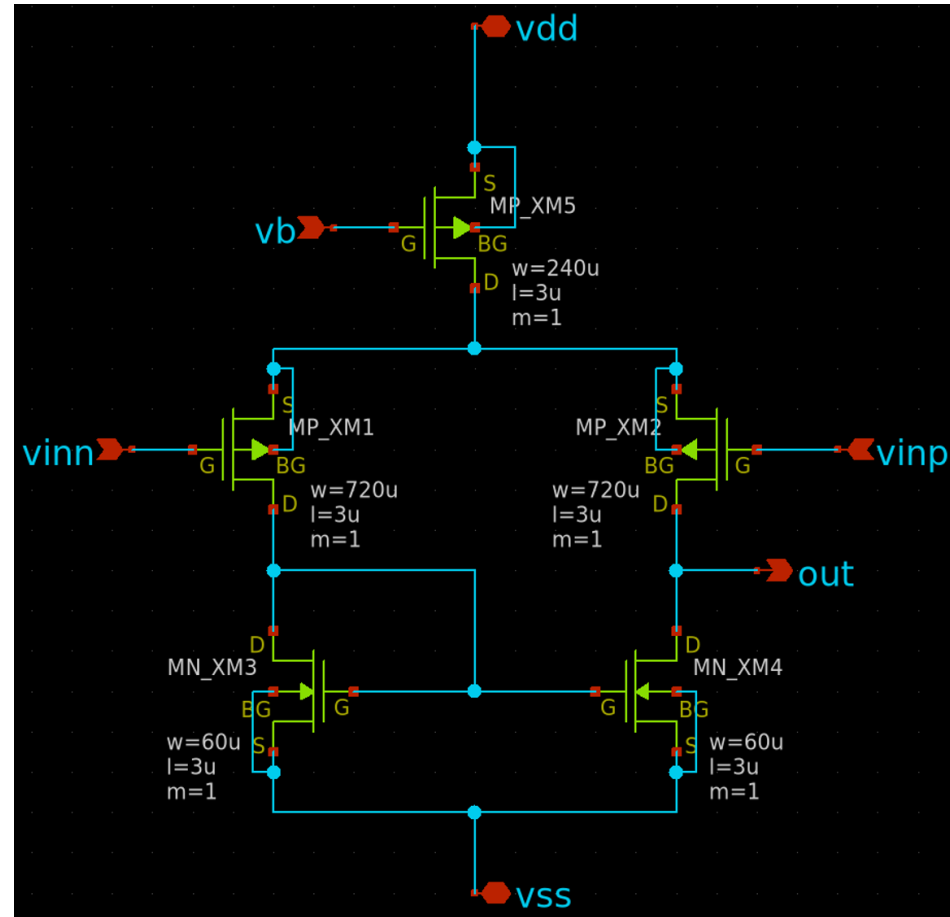
W=30um, L=3um	pMOS	nMOS
Vth	727mV	794mV
Id	3.56uA	6.76uA
gm	31.6uS	79.4uS
rds = 1/gds	17.9MΩ	38.2MΩ
gm × rds (intrinsic gain)	565	3030
Gain	55.0dB	69.6dB



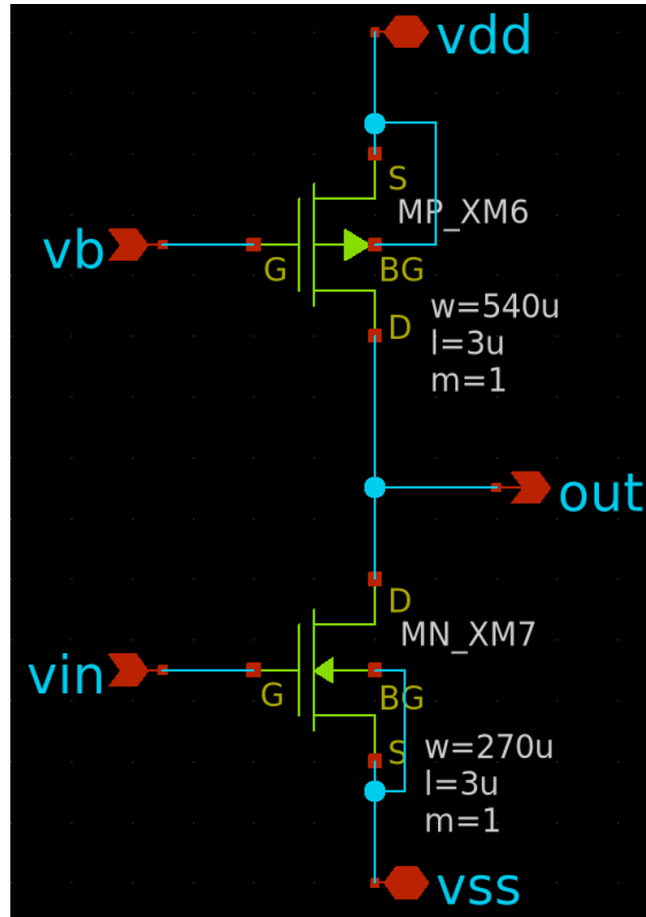
✓ サイズ (WとL) を変えて、好きなMOSFETを作成

# xschemでOPAMPのパーツを設計

## 差動増幅回路



## ソース接地増幅回路

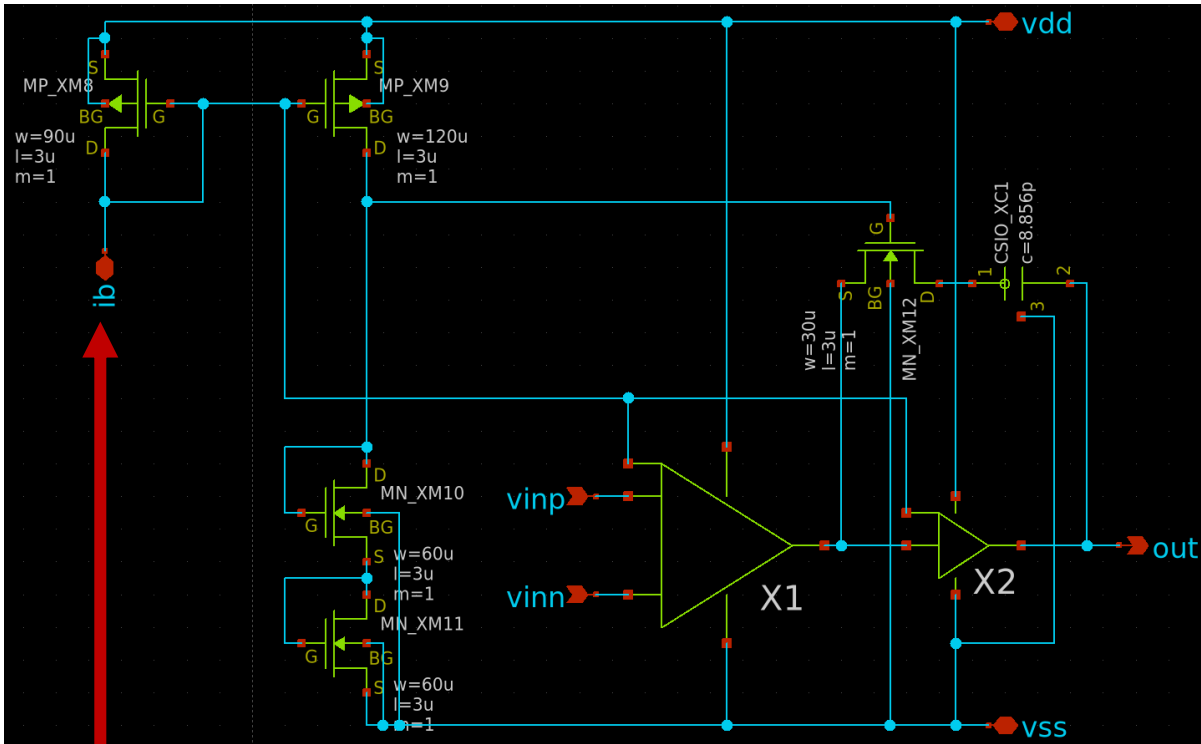


W=30um, L=3um	pMOS	nMOS
Vth	727mV	794mV
Id	3.56uA	6.76uA
gm	31.6uS	79.4uS
rds = 1/gds	17.9MΩ	38.2MΩ
gm × rds (intrinsic gain)	565	3030
Gain	55.0dB	69.6dB

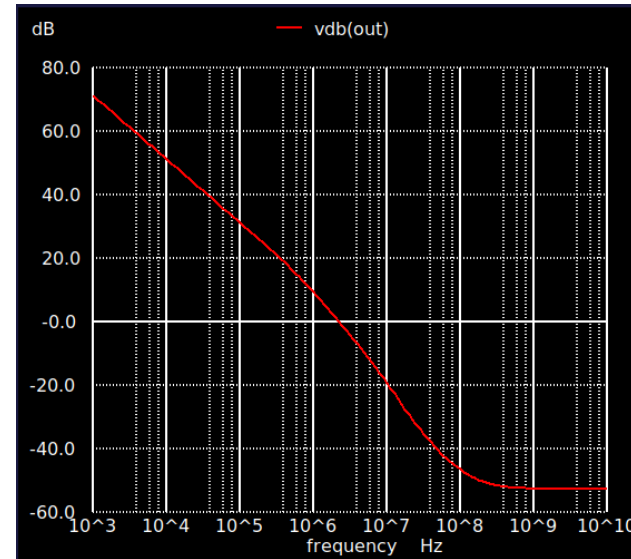
- ✓ 作成したMOSFETの基本データをもとにOPAMPのパーツを組み上げる



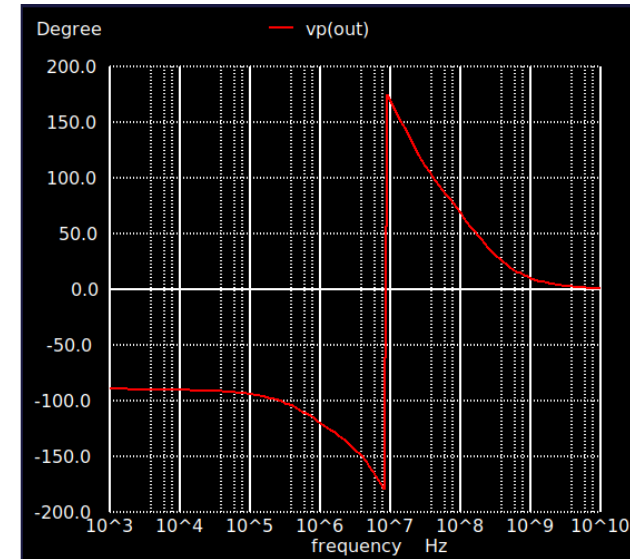
# xschemでOPAMPを設計



### 利得



### 位相



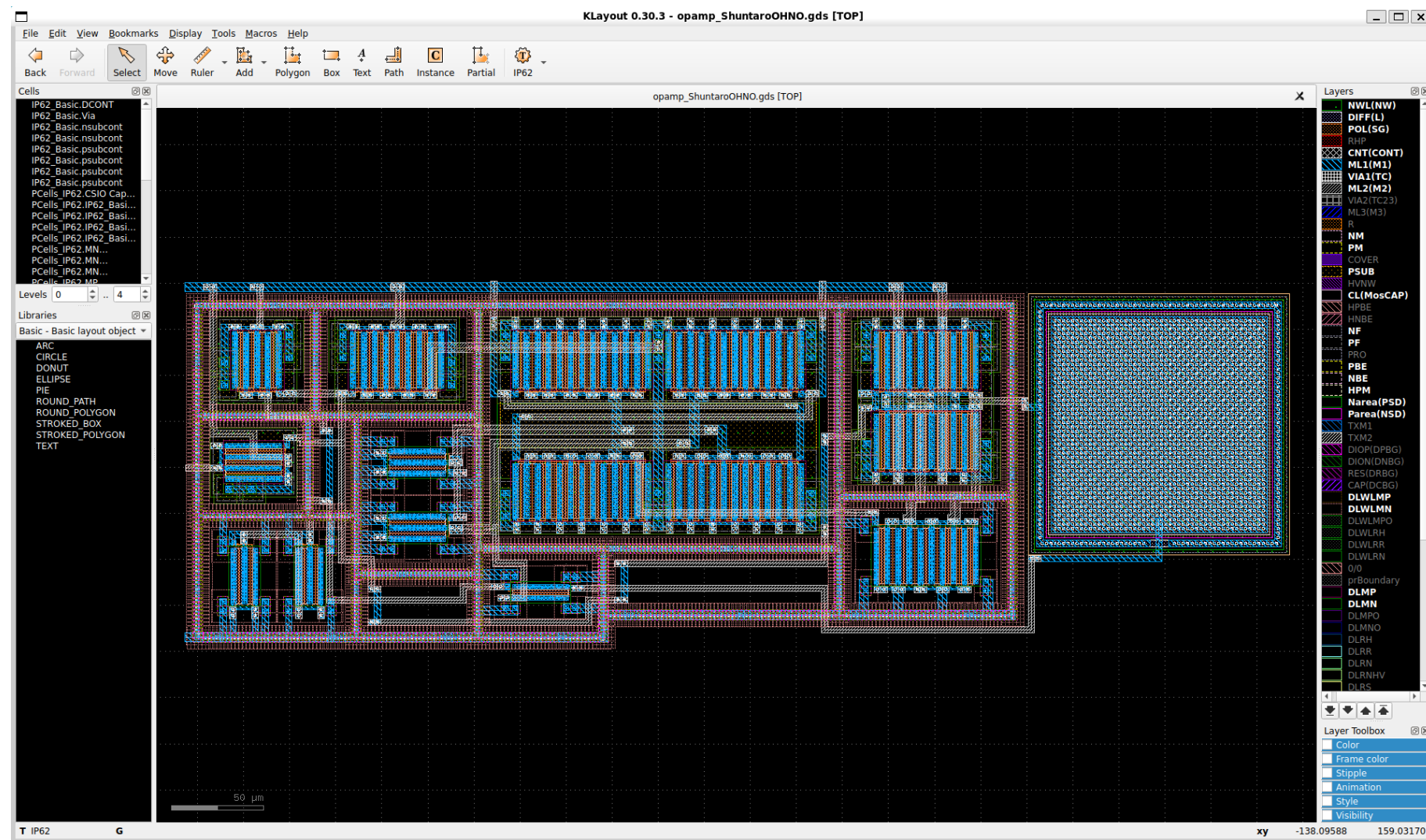
- (伏線?) 利得の平坦部をもっと広くしたかったな...
- (伏線?) **バイアス**を適当に決めちゃったかも...



# OPAMPをレイアウトする



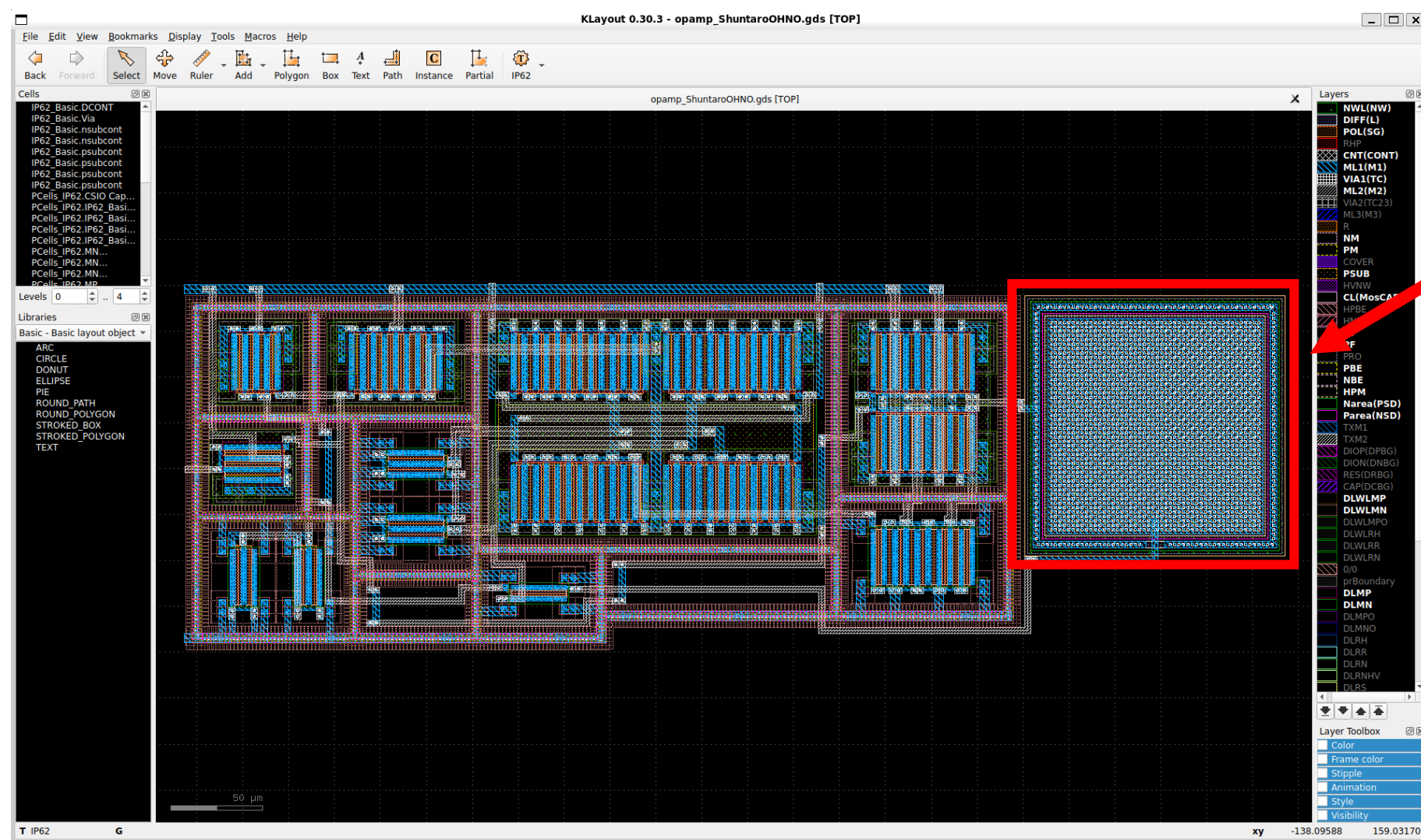
# klayoutでOPAMPをレイアウト①



✓ 設計した回路を  
レイアウトする



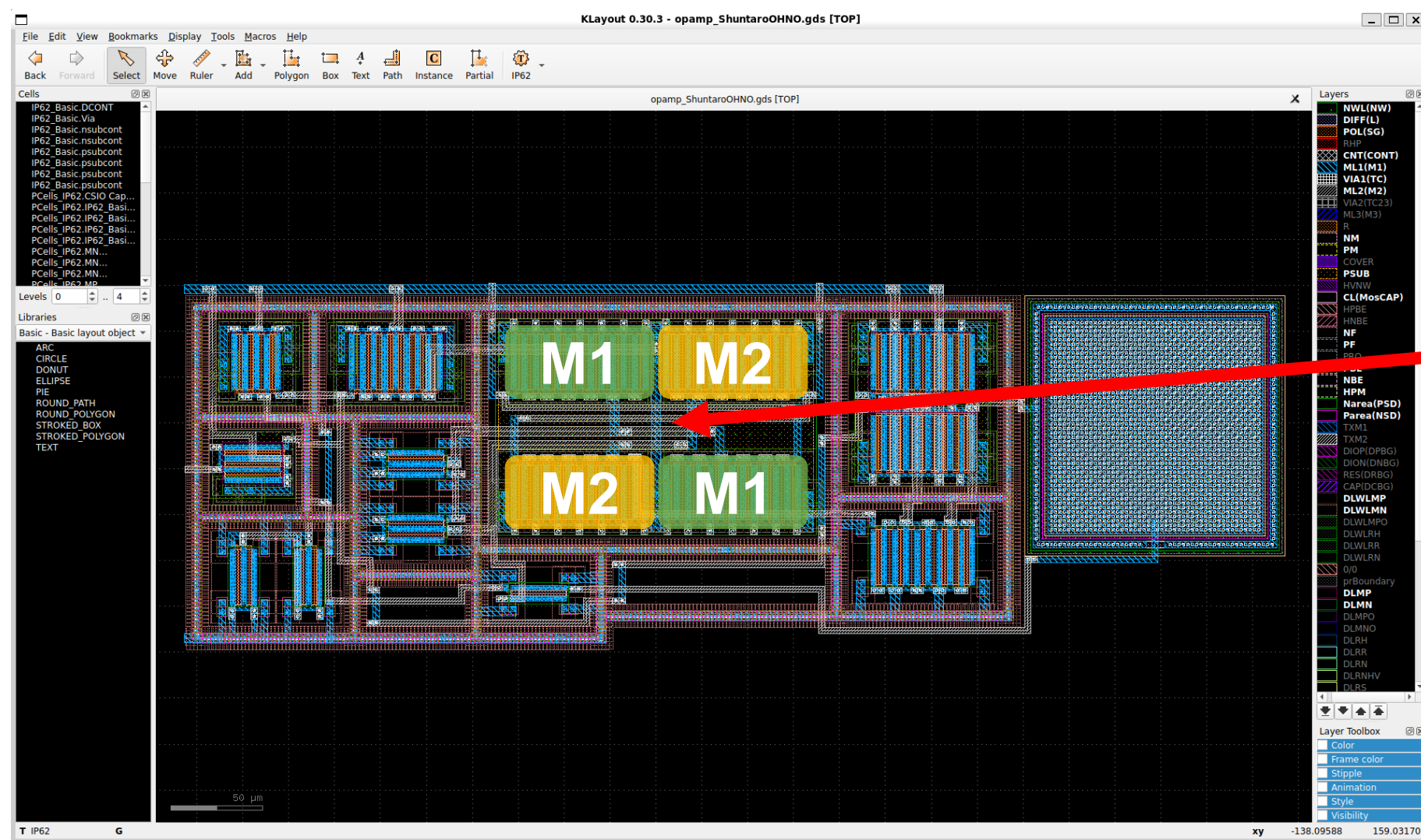
# layoutでOPAMPをレイアウト②



- ✓ 設計した回路をレイアウトする
- ✓ **位相補償コンデンサ**がデカすぎるッピ！



# layoutでOPAMPをレイアウト③



- ✓ 設計した回路をレイアウトする
- ✓ 位相補償コンデンサがデカすぎるッピ！
- ✓ **コモンセントロイド**などのテクニックを活用



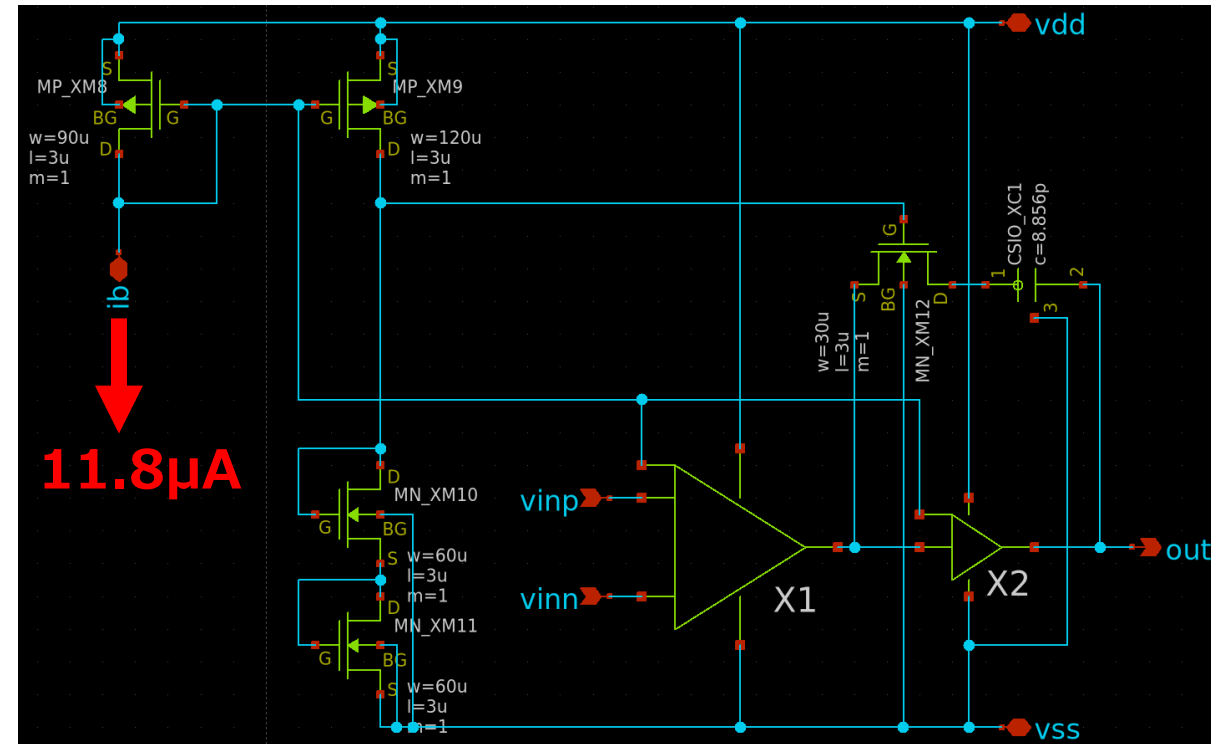


# 製造したOPAMPを計測する

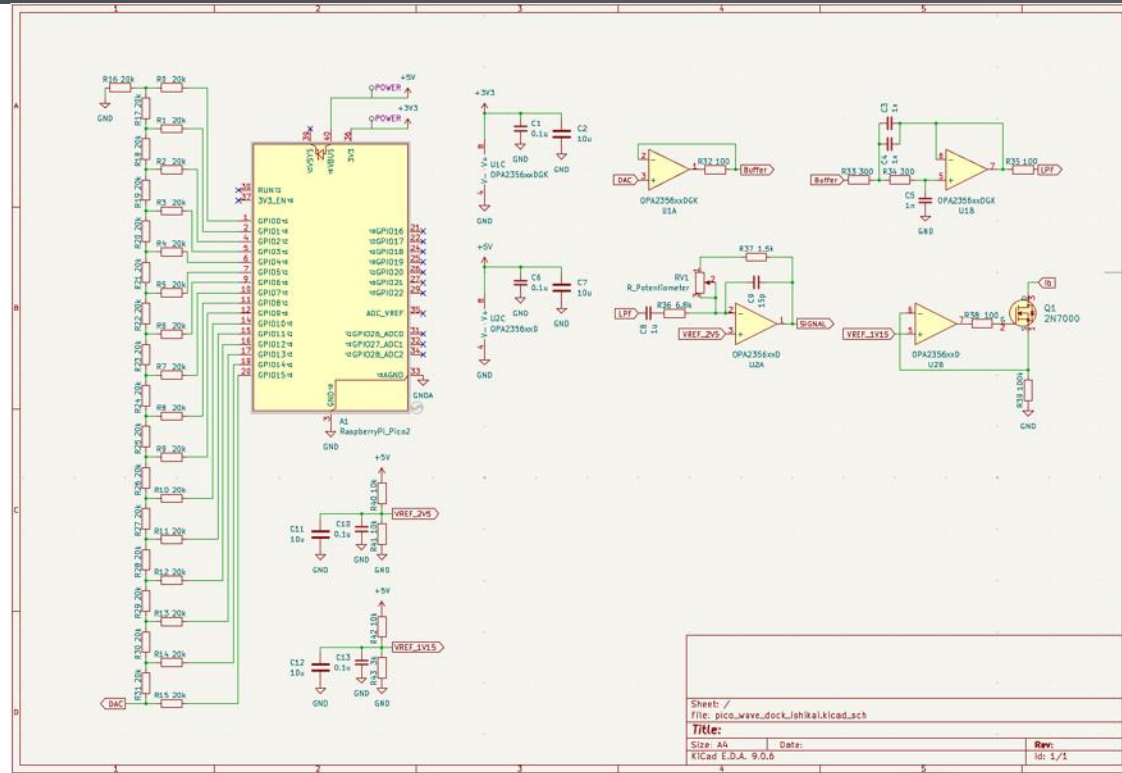
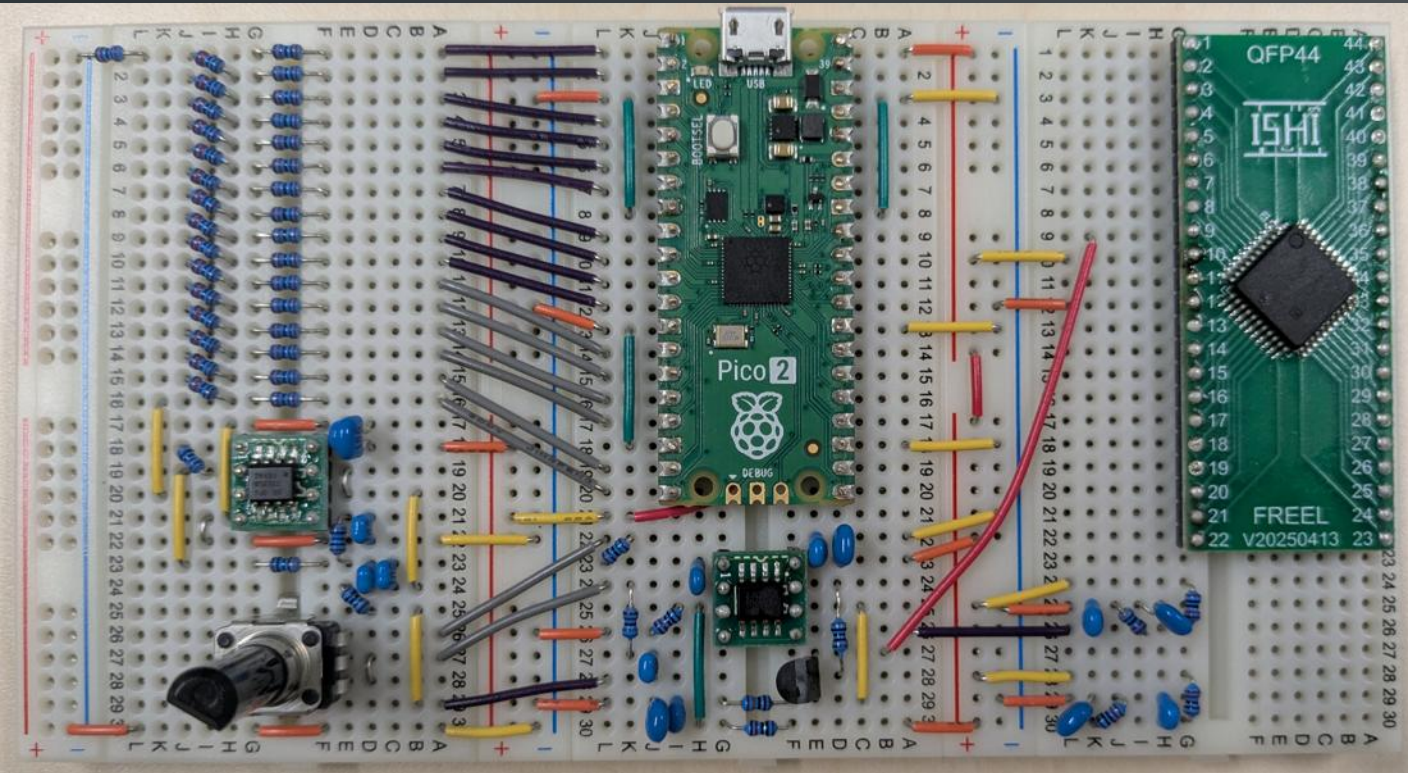


# OPAMPにバイアス電流を供給 ①

- 製造したオペアンプには、**11.8 $\mu$ A**のバイアス電流を供給する（引き抜く）必要がある
- $\mu$ A単位で調整できる電流源は**非常に高価**



# OPAMPにバイアス電流を供給②



- ✓  $\mu\text{A}$ 単位のバイアス電流を供給する回路を**技術同人誌に掲載**
- ✓ 200kHzまでの**正弦波発生機能付き** (2.5V中心・振幅可変)



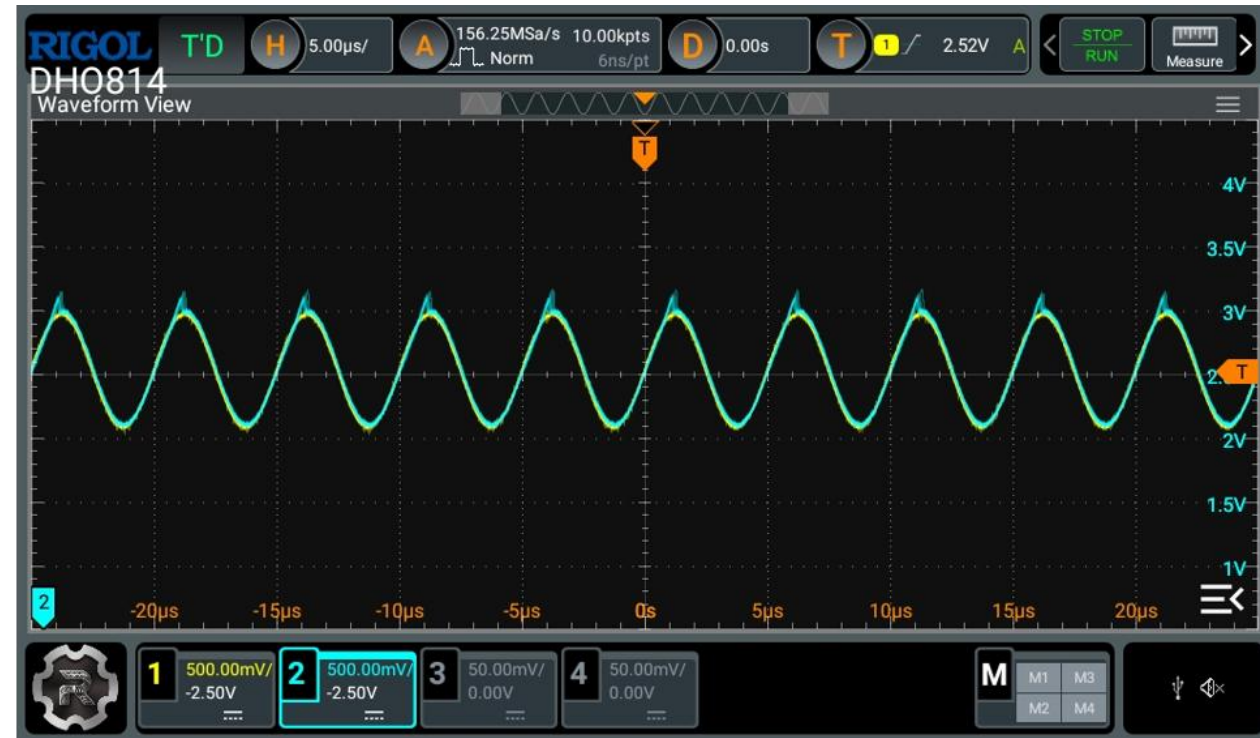
# OPAMPをボルテージフォロワとして使用 ①



- ✓ 1kHzの正弦波を入力し、2.5V中心で振幅を大きくする
- ✓ 上は4.6V程度でクリップ（下はもう少し余裕あり）



# OPAMPをボルテージフォロワとして使用 ②



- ✓ 1Vp-pの正弦波を入力し、周波数を大きくする
- ✓ 160kHzくらいまでは大丈夫そう (200kHzはダメ)



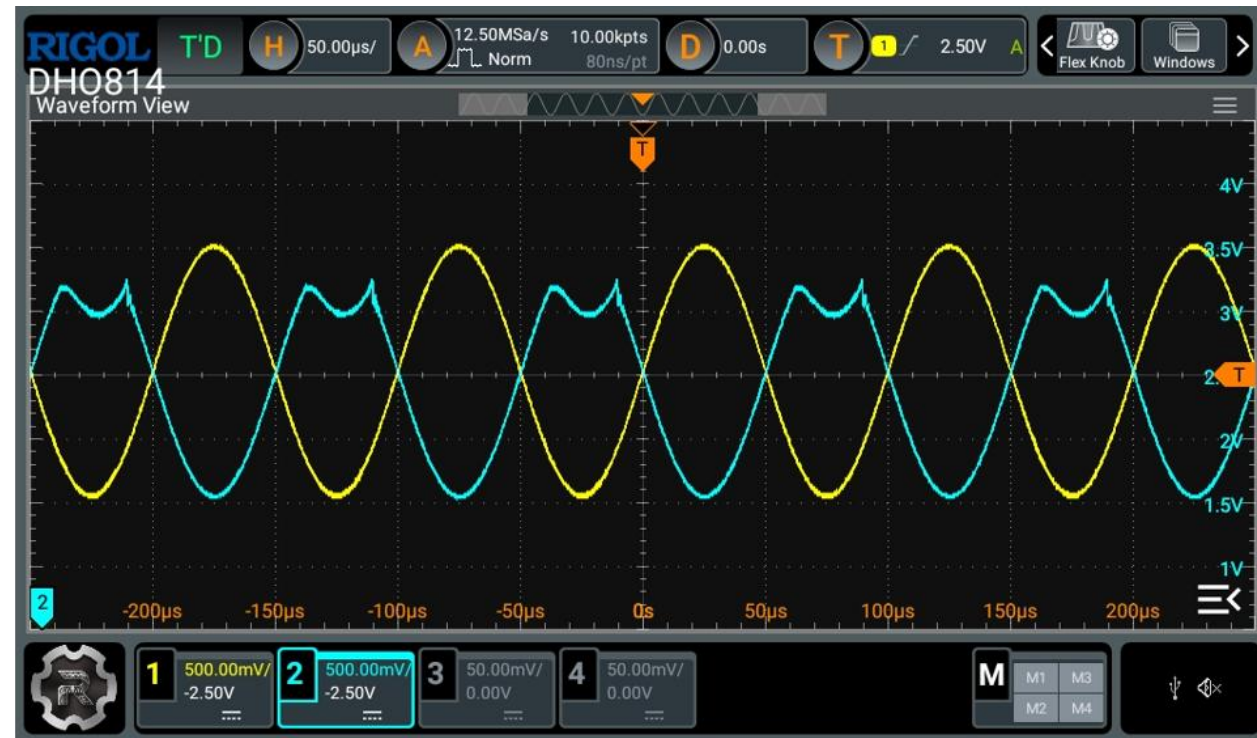
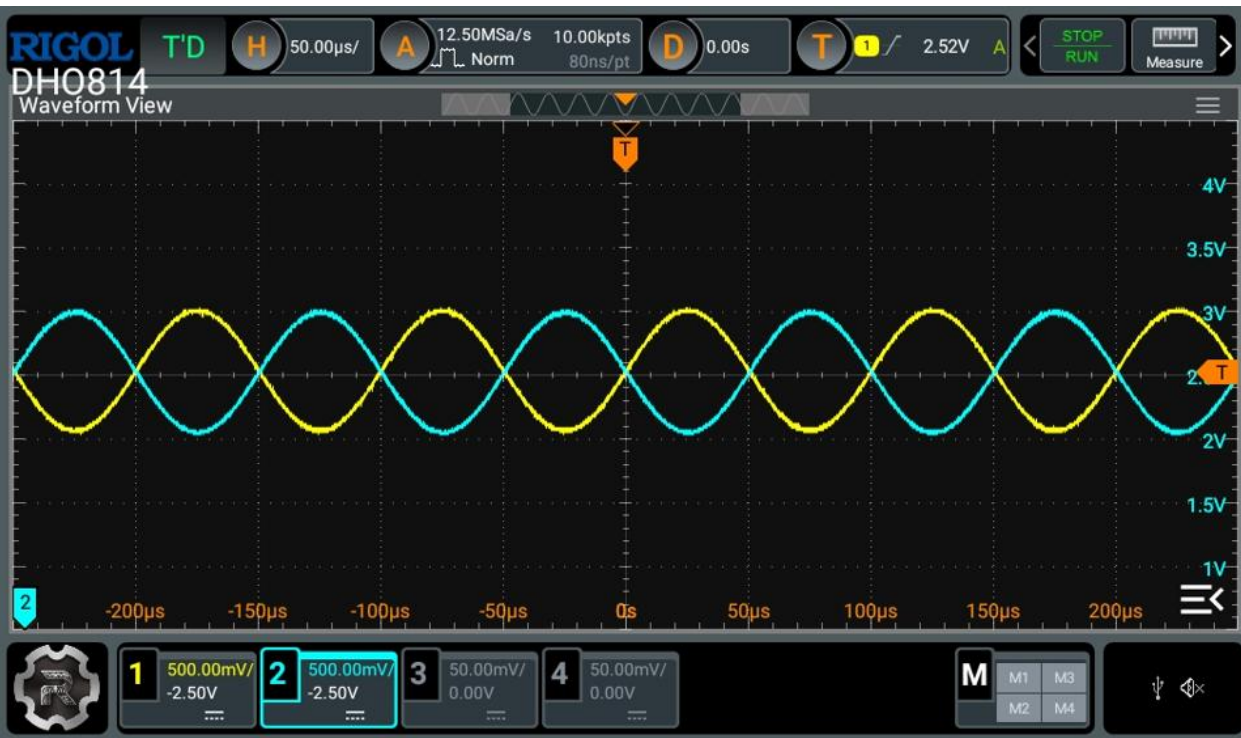
# OPAMPをボルテージフォロワとして使用 ③



- ✓ 2Vp-pの正弦波を入力し、周波数を大きくする
- ✓ 80kHzくらいまでは大丈夫そう（100kHzはダメ）



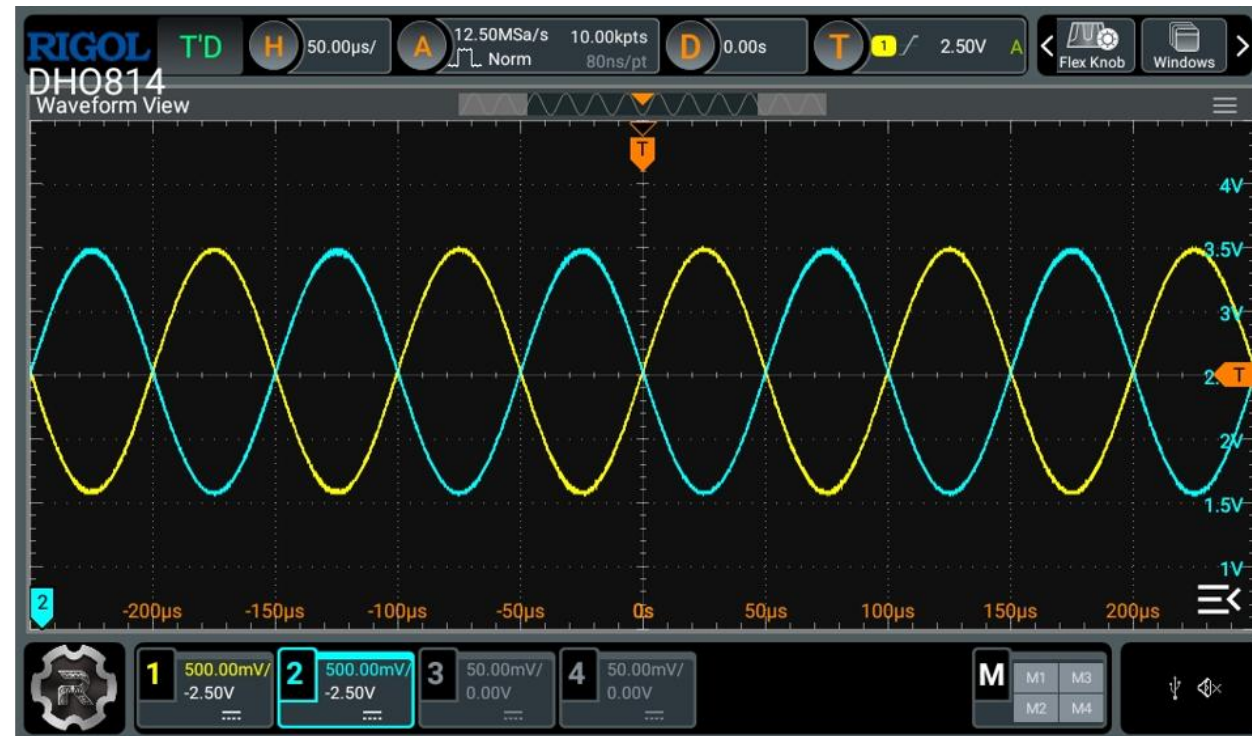
# OPAMPを反転増幅回路として使用 ①



- ✓ 1Vp-p, 10kHzの正弦波で反転増幅に成功
- (伏線?) 2Vp-p, 10kHzの正弦波だと「鏡像」に歪む



# OPAMPを反転増幅回路として使用 ②



- ✓ 反転入力端子の電位が変動（バイアス電流が不足？）
- （伏線？）バイアス電流を増やすと2Vp-pでも動作した

# まとめ



➤ かなり適当な設計でしたが、  
運が良ければ動くということを知ってもらえれば…

✓ ただし、予習は必須でした

← 買ってね