# 小さくつくって、
# 世界をつなぐ

## 半導体・微細加工から有機デバイスへ



### 材料を選ぶ。形にする。働きを確かめる。

トランジスタから、MEMS、液体の回路、印刷技術へ。

**中央大学 吉田研究室｜研究紹介漫画**

2026年11月

# 目次

漫画は左から右、上から下へ。台詞の色と吹き出しの色が話し手に対応しています。


## 第1章　小さな回路の、大きな仕事

01　スマホの中の、小さな主役　3
02　電気を通す・止める・調節する　4
03　トランジスタは、電気の門番　5
04　小さくすると、何がうれしい？　6
05　マイクロとナノのものさし　7

## 第2章　光で描き、層を重ねる

06　ウエハーに、薄い膜を重ねる　8
07　光に反応する、レジスト　9
08　マスクで照らして、現像する　10
09　窓から削る、エッチング　11
10　ずれを防ぐ、アライメント　12
11　光でもナノへ。電子線でも描く　13
12　同じシリコンに、n型とp型　14
13　形と材料で、動く素子へ　15

## 第3章　小さな機械をつくる

14　電気の回路から、小さな機械へ　16
15　揺れを、電気で読む　17
16　電気から、振動と音へ　18
17　下を取り除くと、動き出す　19

## 第4章　液体の回路と、生き物

18　電気ではなく、液体の回路　20
19　小さな流れは、静かに並ぶ　21
20　曲げる、分ける、細胞を運ぶ　22
21　シリコンとシリコーンは、別もの　23
22　型を写して、トンネルをつくる　24
23　生き物に合うか、確かめよう　25

## 第5章　有機材料を、印刷する

24　有機材料には、新しい加工を　26
25　炭素の形が、働きを変える　27
26　電気を通す高分子、PEDOT:PSS　28
27　ゴムとゲルも、電子デバイスへ　29
28　固体の材料を、インクにする　30
29　小さな液滴で、線を描く　31
30　凹版・凸版・スクリーン　32
31　微細加工と印刷を、組み合わせる　33

## 第6章　自分だけのデバイスへ

32　材料から、クリーンルームへ　34
33　できた？　測って、考えよう　35
34　小さな加工から、自分の研究へ　36

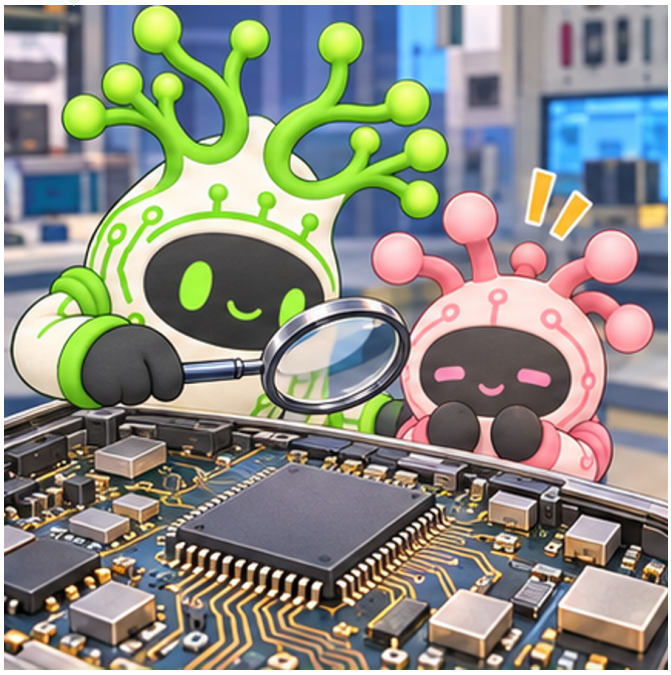
**用語索引 37–38　／　参考資料・制作について 39–40**

# 01　スマホの中の、小さな主役

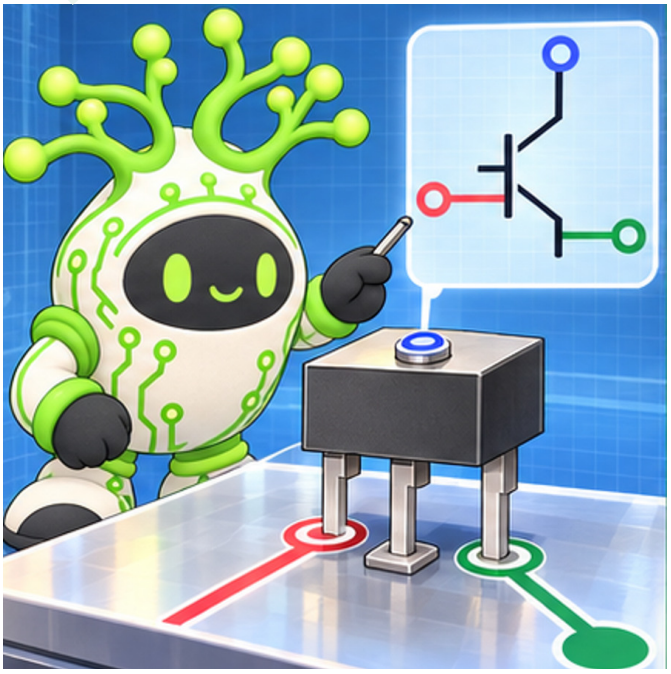
こんな小さなスマホで、計算も撮影もできるのは、どうして？



中には集積回路、ICがある。たくさんの電子素子が、役割を分担しているんだ。



中心になるのはトランジスタ。電気の流れを制御して、計算や信号の処理をするよ。



小さな部品を、どうやってつくるんだろう？工場の中を探検したい！



補足　ICは抵抗・キャパシタ・配線なども含む。ここでは半導体を使うトランジスタを入口に、加工技術をたどる。

# 02　電気を通す・止める・調節する

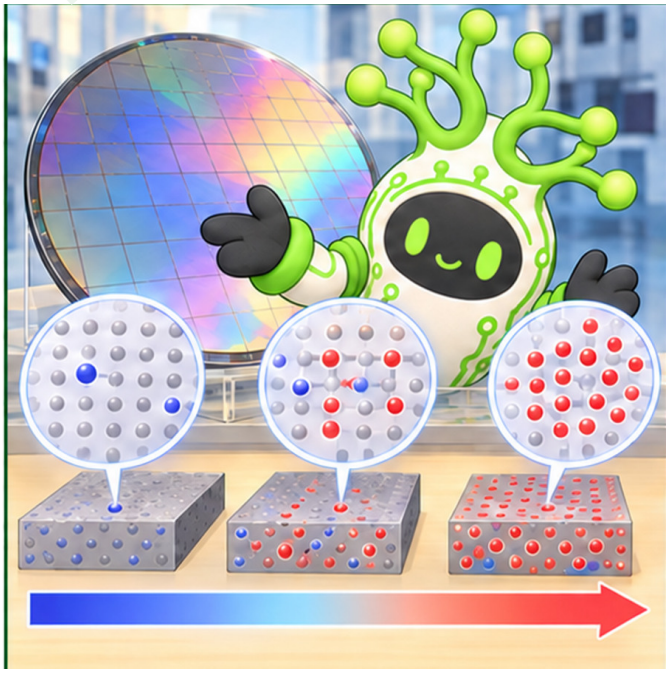
金属の線をつなぐだけでは、回路をつくれないの？



導電体は電気を通しやすく、絶縁体は通しにくい。どちらも回路に必要だよ。



半導体は、電圧や不純物などで電気の流れやすさを変えられる材料なんだ。



通す場所、止める場所、調節する場所。それぞれに材料を選ぶんだね！



補足　「半分だけ通す」という意味ではない。材料、温度、ドーピング、電場などによって導電性は変わる。

# 03　トランジスタは、電気の門番

電気で電気を調節するって、どういうこと？



例えばMOSトランジスタ。ゲートの電圧で、ソースとドレインの間の流れを変える。



ゲートと半導体の間には絶縁膜がある。電場で、電荷の通り道をつくるんだ。



大きな流れを、小さな入力で操作するんだね。スイッチや増幅に使えそう！



補足　図はMOSFETの簡略模式図。ゲートへ電流を流し込んで門を動かす機械ではなく、電場を利用する素子。

# 04　小さくすると、何がうれしい？

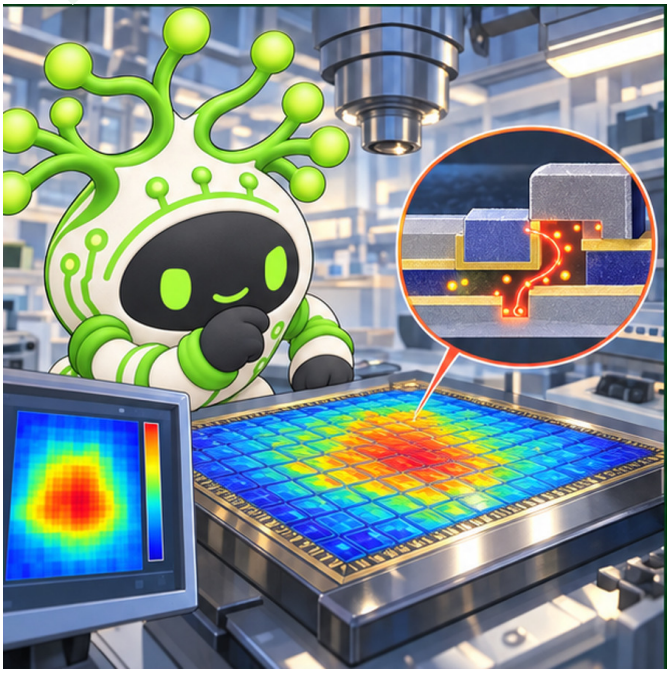
トランジスタは、大きいほうが強そうだけど？



小さくできれば、同じ面積にたくさん並べられる。機器の小型・軽量化につながるよ。



設計や条件が適切なら、高速化や省電力化にも役立つ。でも発熱や漏れ電流が課題になる。



小さくするだけでは足りないんだ。材料と構造を、一緒に工夫するんだね。



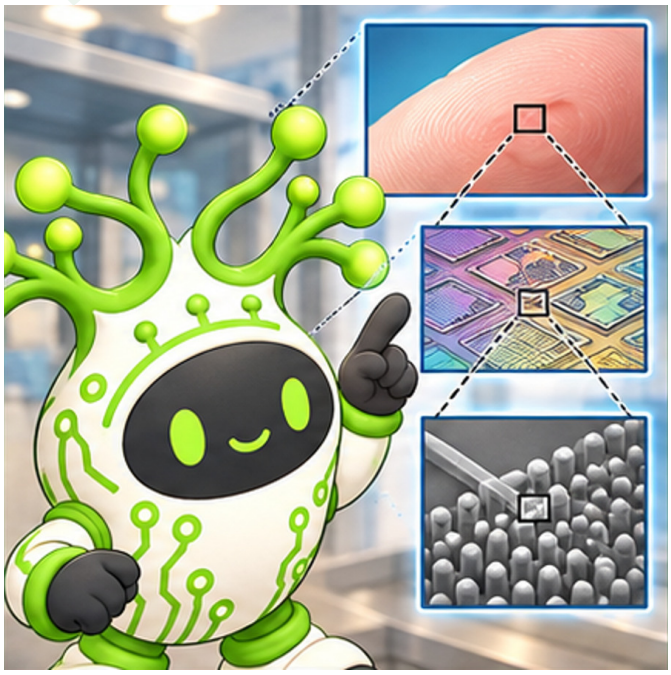
補足　微細化で性能が自動的に向上するわけではない。配線抵抗、発熱、ばらつき、短チャネル効果なども考える。

# 05　マイクロとナノのものさし

小さいって、どのくらい小さいの？



1ミリメートルの千分の一が1マイクロメートル。さらに千分の一が1ナノメートルだ。



微細な回路も、細胞を扱う流路も、つくりたい機能に合わせて大きさを選ぶんだ。



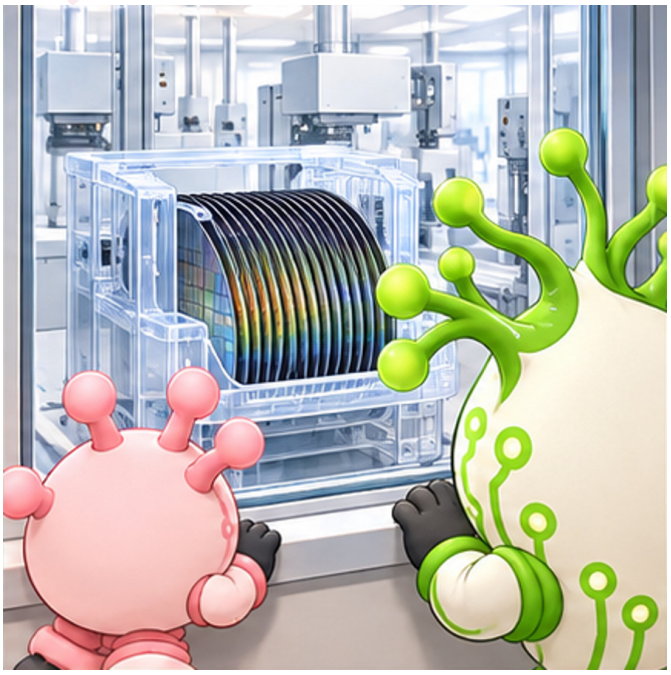
全部を最小にすればいいわけじゃない！　何をしたいかが、ものさしになるね。



補足　1 mm = 1,000 μm、1 μm = 1,000 nm。半導体の「〇nm世代」という呼称は、すべての寸法がその値という意味ではない。

# 06　ウエハーに、薄い膜を重ねる

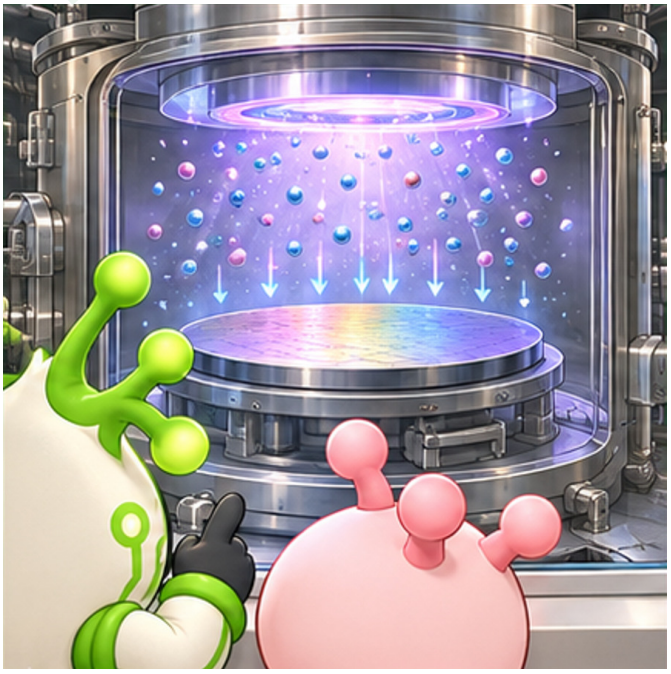
いよいよ加工だね。最初から、細い線を一本ずつ置くの？



よく使う出発点は、平らなシリコンの基板。ウエハーと呼ぶよ。



その上に、導電体や絶縁体などの薄い膜をつくる。成膜という工程だ。



まず広く膜をつくって、必要な形を残すんだね。積み木より、版画に近そう！



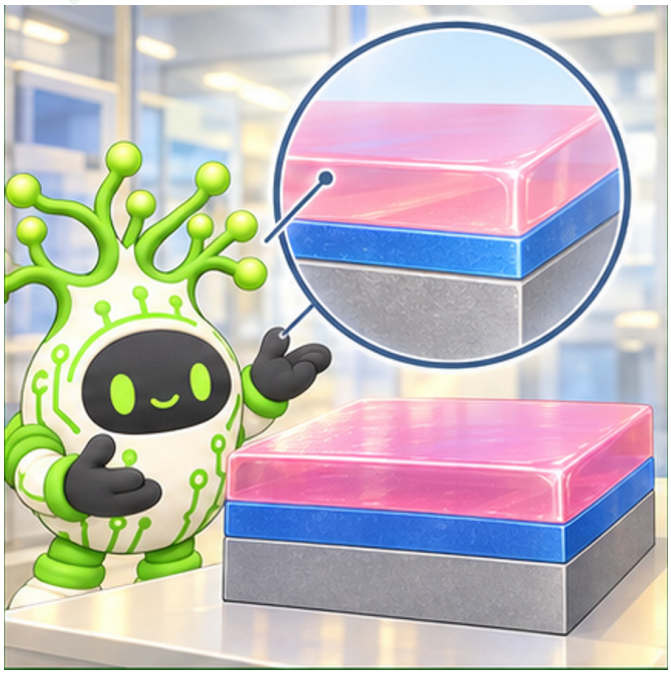
補足　従来の半導体加工は金属だけでなく、シリコン、酸化膜、窒化膜なども扱う。成膜には蒸着・スパッタ・CVDなどがある。

# 07　光に反応する、レジスト

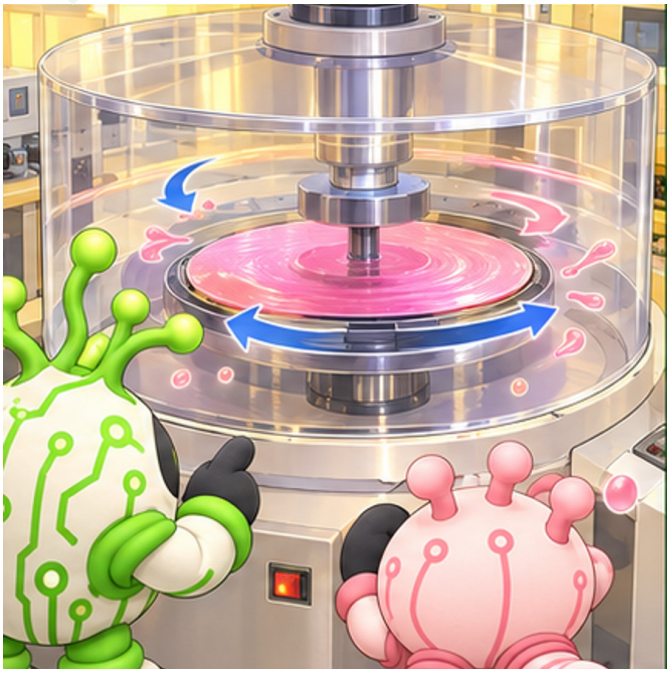
必要な形は、どうやって膜に教えるの？



まず、光で性質が変わる感光性材料を塗る。フォトレジストというよ。



基板を回して薄く広げるスピンコートなどを使い、膜の厚さをそろえるんだ。



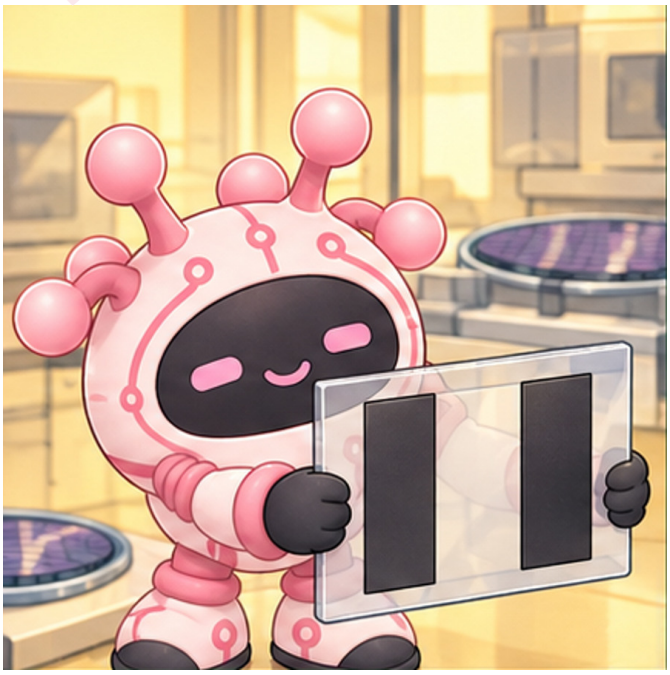
感光膜が、模様の下書きになるんだね。厚さが違うと、仕上がりも変わりそう。



補足　レジスト自体も有機高分子を主成分とするものが多い。塗布後の乾燥・熱処理なども加工精度に影響する。

# 08　マスクで照らして、現像する

光の当たる場所を、どうやって選ぶの？



模様を描いたフォトマスクを使う。露光すると、光が届いた部分のレジストが変わる。



ここではポジ型の例。光が当たった部分が、現像液に溶けやすくなるんだ。



現像でその部分を取り除くと、下の膜に届く窓が開く！



補足　露光と現像は別工程。ネガ型では一般に露光した部分が残る。ここから先はポジ型レジストの例で説明する。

# 09　窓から削る、エッチング

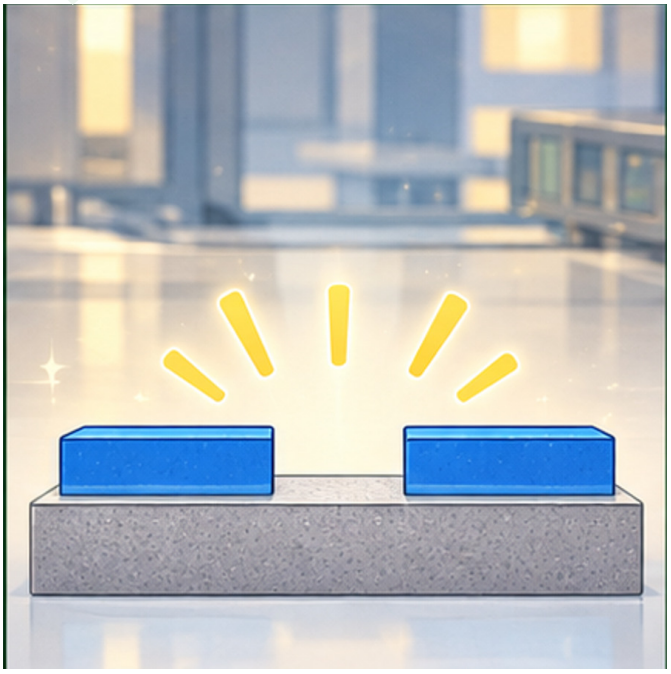
窓が開いても、下の材料はまだ残っているね。



次はエッチング。薬液やプラズマなどで、窓から露出した材料を取り除くよ。



守られた部分が残ったら、役目を終えたレジストを除去。目的の模様ができる。



塗る、照らす、現像する、削る。役割の違う工程が、つながっているんだ！



補足　現像はレジストを選択的に除く工程。エッチングは、その下の材料などへ形を転写する工程。選択性や深さの制御が重要。

# 10　ずれを防ぐ、アライメント

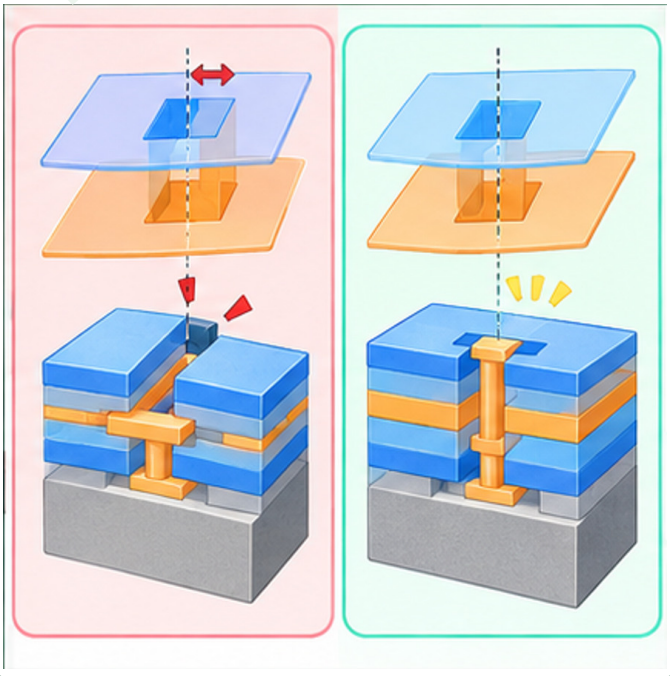
次の層も同じように加工すれば、立体の回路になる？



そう。ただし前の模様と位置を合わせよう。目印を使うアライメントが大切だ。



位置がずれると、つながるはずの配線が切れたり、別の線と触れたりする。



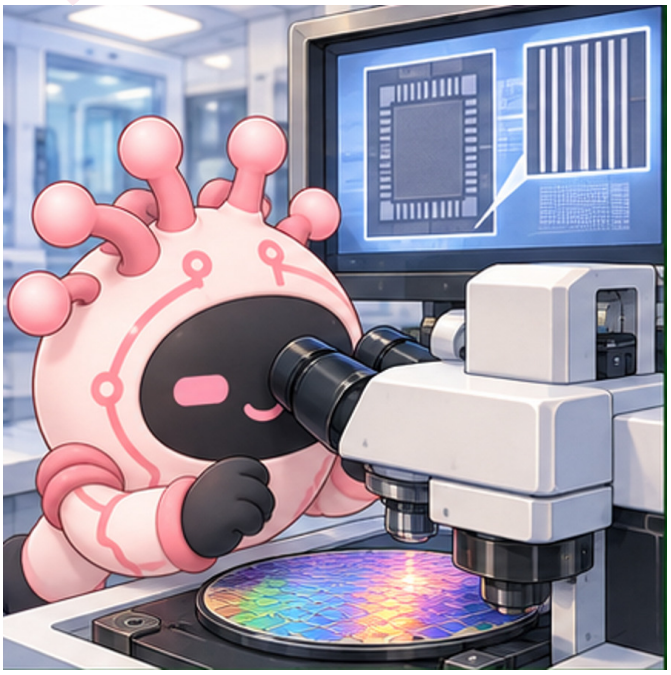
成膜と加工を繰り返すたびに、位置も確かめるんだね。小さなずれも大問題！



補足　層どうしの重ね合わせ誤差をオーバーレイと呼ぶ。寸法だけでなく、位置・膜厚・平たんさも確認する。

# 11　光でもナノへ。電子線でも描く

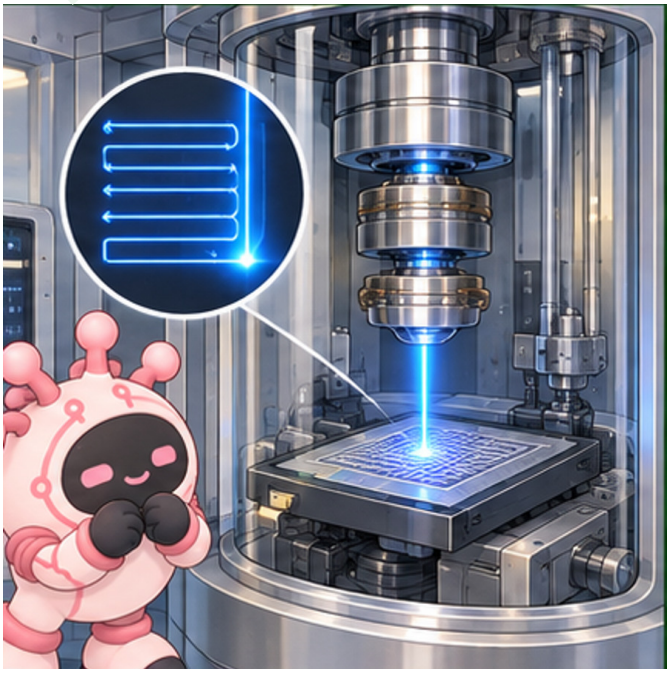
光でつくれるのは、マイクロメートルまでなの？



ううん。先端の光リソグラフィはナノメートル領域も扱う。波長や光学系、工程の工夫が効く。



電子線でレジストへ直接描く方法もある。細かな試作や、マスクづくりにも使うよ。



光か電子線かを、細かさだけで決めないんだ。速さや費用、つくる数も考えるんだね。



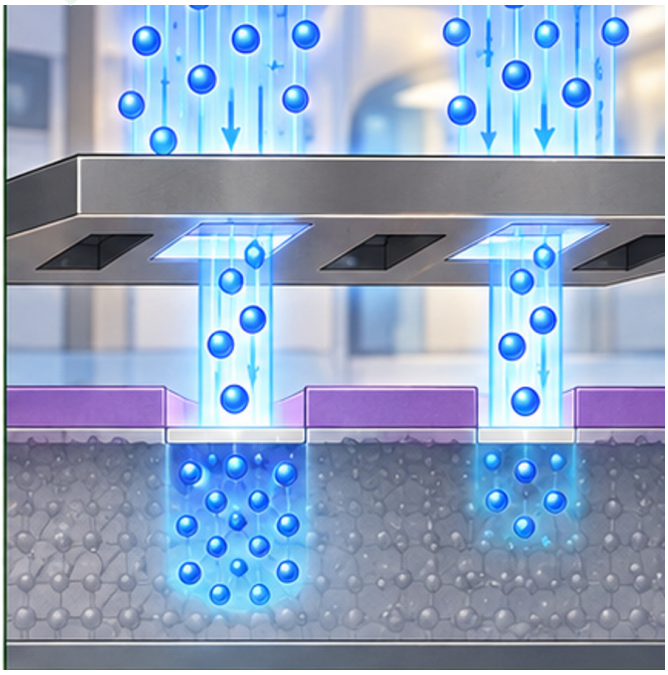
補足　光の波長がそのまま最小線幅になるわけではない。DUVの一例は193 nm、EUVは13.5 nm。電子線描画は通常、逐次描画。

# 12　同じシリコンに、n型とp型

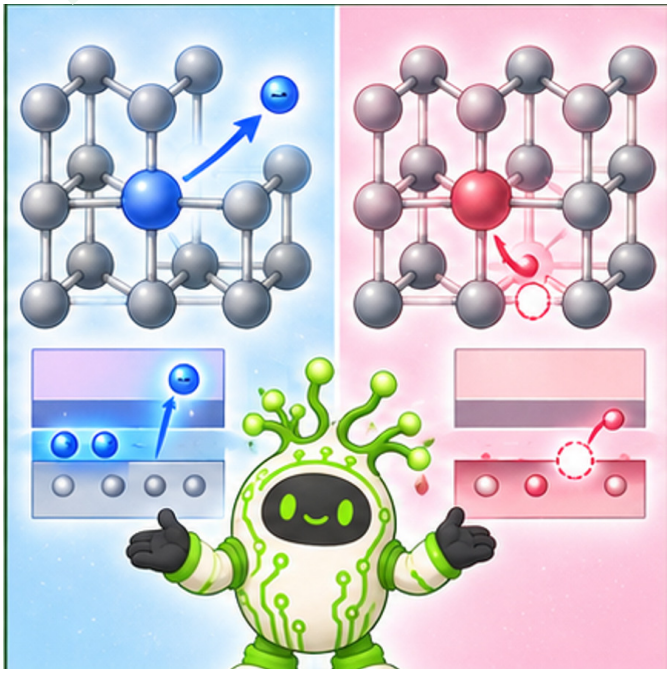
形だけでなく、材料の電気の性質も変えられる？



少量の不純物を加えるドーピングで変えられる。
イオン注入は、その方法の一つだ。



シリコンでは、リンなどで電子が主役のn型、
ホウ素などで正孔が主役のp型をつくれる。



マスクで場所を選んで打ち込めば、同じ基板の
中につくり分けられるんだね！



補足　p型は正に帯電した塊という意味ではない。注入後は、結晶損傷の回復や不純物の活性化に熱処理などを用いる。

# 13　形と材料で、動く素子へ

薄膜の加工と、n型・p型づくりが、トランジスタにつながるんだ！



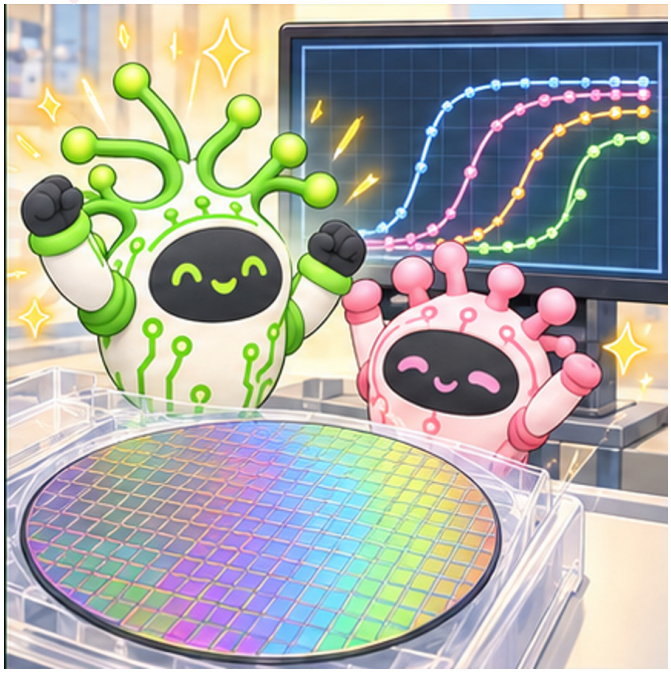
例えば、ソース・ドレイン、薄い絶縁膜、ゲートを配置する。接点や配線も必要だ。



最後は電圧をかけ、電流が狙いどおり変わるか測定する。形ができただけでは完成じゃない。



材料を変える、形をつくる、電気で確かめる。この三つがひとつになるんだね。



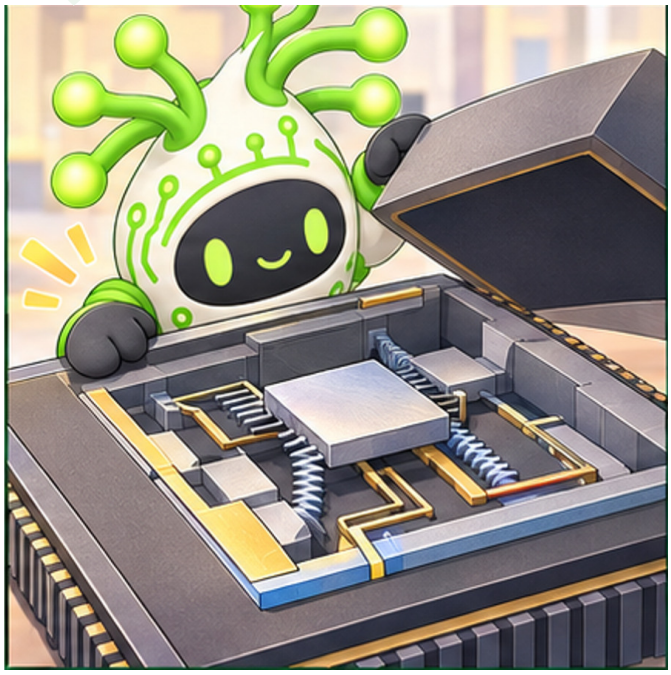
補足　MOSFETの構造を説明する模式図であり、工程順を省略したもの。実際の製造には多数の工程・検査がある。

# 14　電気の回路から、小さな機械へ

この加工技術で、動くものもつくれる？



つくれるよ。MEMSは、微小な機械構造や電気的な仕組みを組み合わせる技術だ。



ばね、膜、歯車のような構造も対象になる。大きさは、働かせたい機能に合わせるんだ。



電子の流れだけでなく、現実の動きも扱うんだ！
同じ加工が、別の世界へつながった。



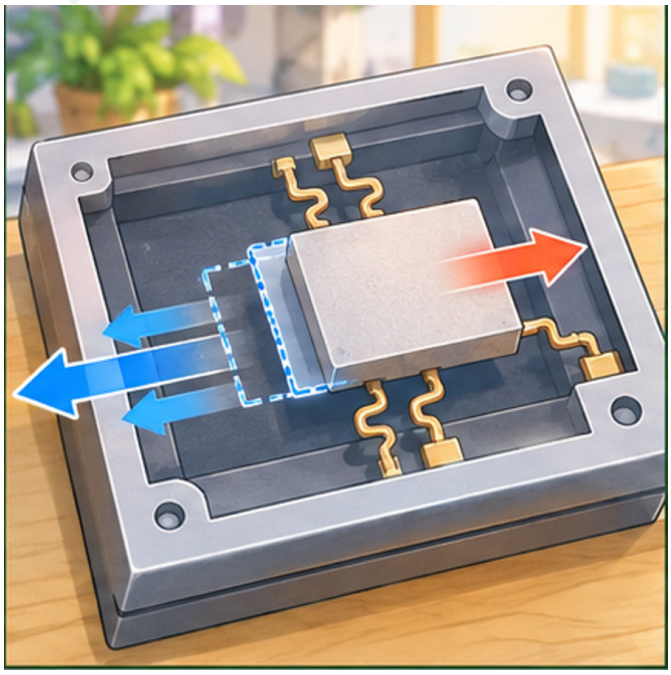
補足　MEMS = Micro-Electro-Mechanical Systems。必ず可動部があるとは限らず、寸法も用途による。ナノ機械の研究もある。

# 15　揺れを、電気で読む

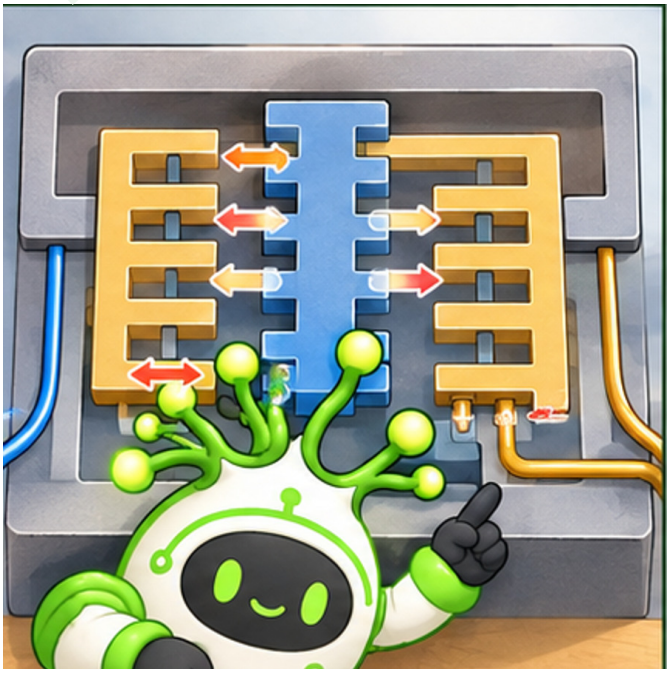
スマホは、どうやって傾きや動きに気づくの？



例えばMEMSの加速度センサ。ばねにつながれた小さなおもりが、慣性でずれる。



おもりと電極の間の静電容量などが変わる。その変化を電気信号として読み出すんだ。



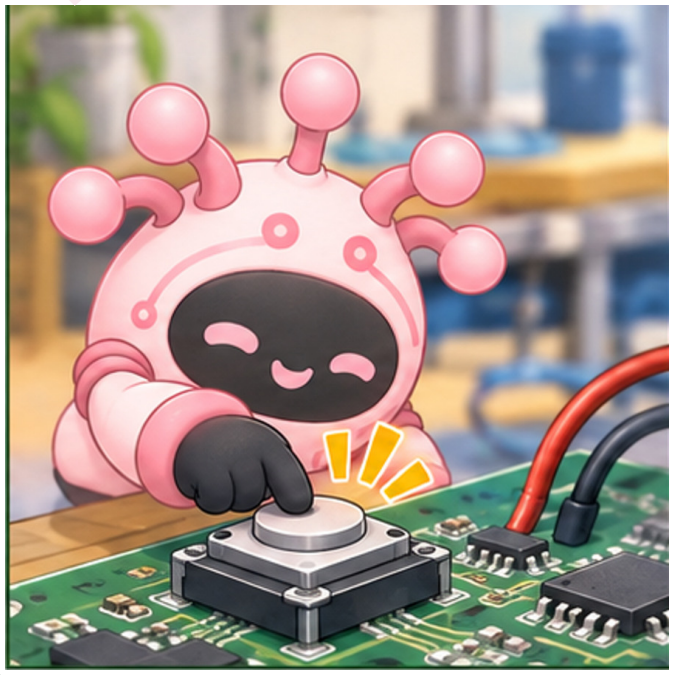
目に見えないほど小さな動きが、画面を回したり、歩きを測ったりする手がかりになる！



補足　加速度センサは角速度センサとは別。静止時には重力による成分も測るため、傾きの推定にも使える。

# 16　電気から、振動と音へ

逆に、電気で小さな機械を動かせるの？



それがアクチュエータ。静電気の力や、電圧で変形する圧電材料などを利用する。



MEMSスピーカーも一例。小さな構造を振動させ、空気を揺らして音をつくるよ。



センサは「動きから信号」。アクチュエータは「信号から動き」なんだね！



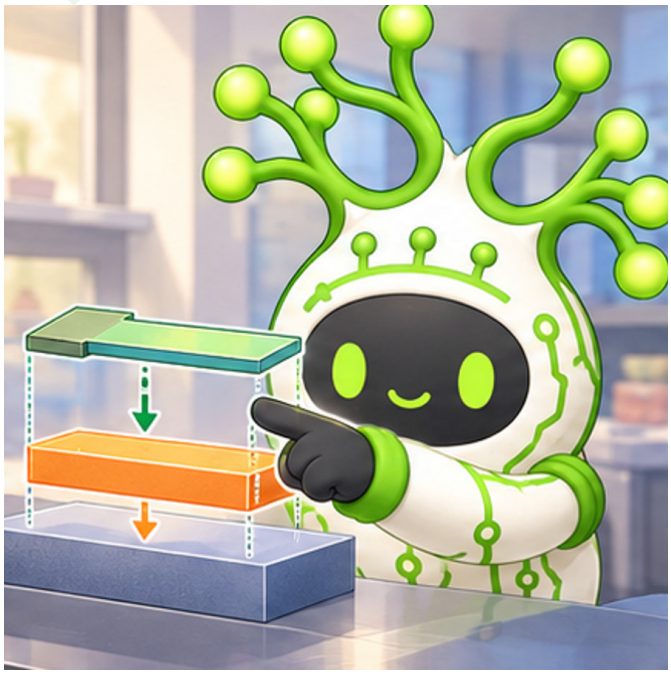
補足　アクチュエータには静電・圧電・熱など多様な方式がある。一般的なスピーカーすべてがMEMSというわけではない。

# 17　下を取り除くと、動き出す

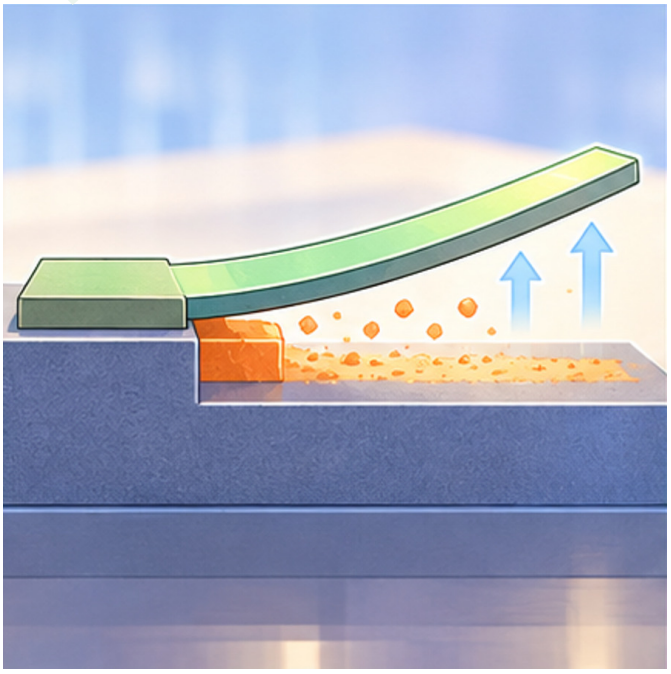
基板にくっついた膜が、どうしたら自由に動くの？



一つの方法は犠牲層。あとで取り除く層の上に、動かしたい構造をつくるんだ。



犠牲層だけを選んで除くと、すき間ができる。固定端を残せば、細い梁が動ける。



残す材料と、消す材料を設計するんだ！　動けるようにする加工も、奥が深いね。



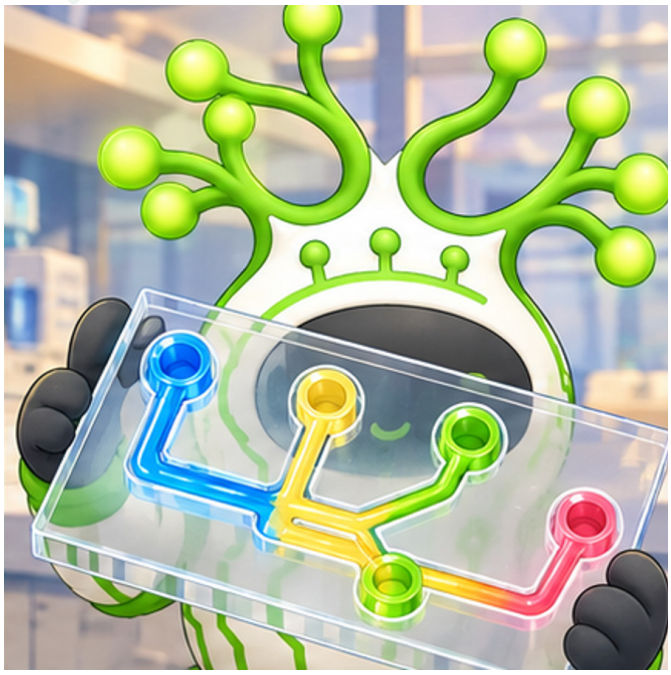
補足　構造を自由にする工程はリリースと呼ばれる。乾燥時の貼り付き（スティクション）、変形、破損などが課題になる。

# 18　電気ではなく、液体の回路

回路の中を、液体が流れることもある？



あるよ。細いトンネル、流路をつくるマイクロ流体デバイスだ。



混ぜる、分ける、反応させる、測る。小さなチップに実験の機能を集められる。



実験室がチップになるんだね！　Lab-on-a-ChipやμTASという言葉につながるんだ。



補足　μTASはmicro Total Analysis Systems（微小統合解析システム）。流路だけでなく送液・反応・検出などの統合を考える。

# 19　小さな流れは、静かに並ぶ

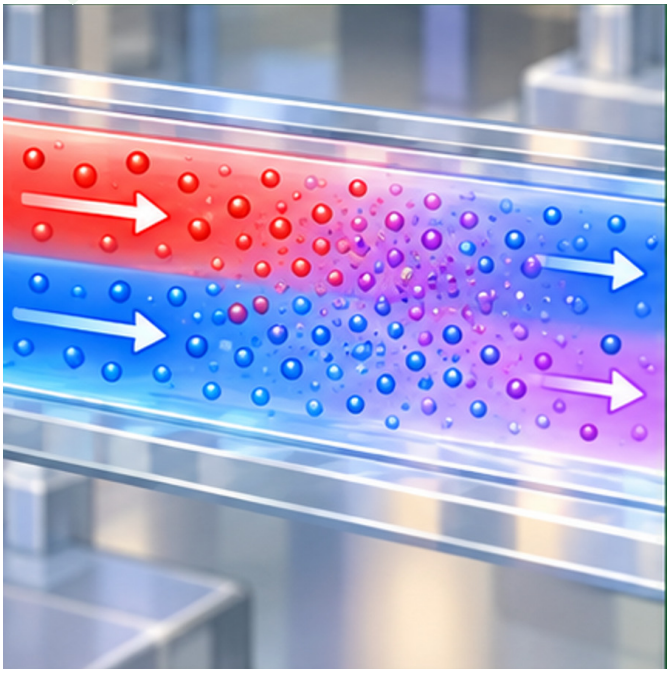
赤い液体と青い液体が出会ったのに、すぐには混ざらない！



多くの微小流路では、粘性の影響が強く、流れが乱れにくい。層流になりやすいんだ。



でも分子は拡散して、境目を越える。流す速さや流路の幅で、混ざり方が変わるよ。



かき混ぜなくても混ざるけれど、時間が要るんだね。流れを設計する意味がわかった！



補足　流れの状態は寸法・流速・粘度などで決まる。すべてのマイクロ流路が必ず層流になるわけではない。

# 20　曲げる、分ける、細胞を運ぶ

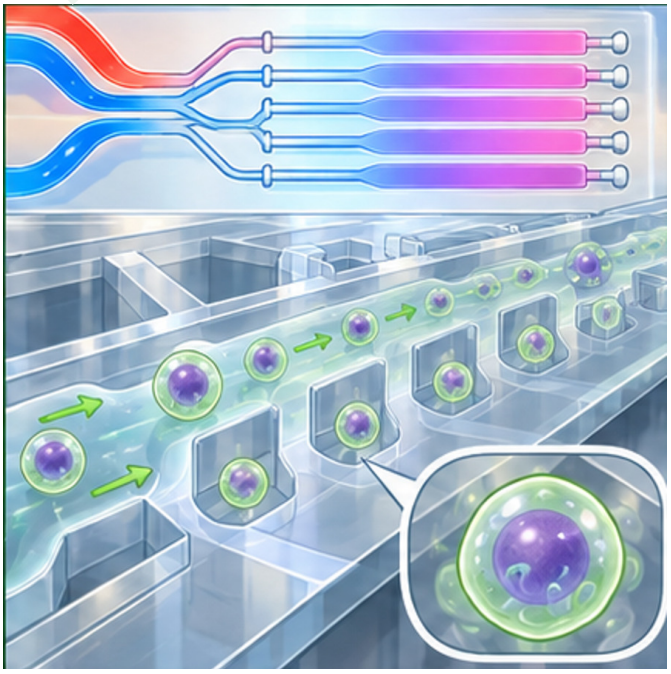
流路は、ただの細い管じゃないんだね。



分岐や曲がり、細かな凹凸で、混ざり方や粒子の進み方を工夫できる。



細胞を決まった場所に運ぶ、薬の濃度を変える。生物実験の環境づくりにも役立つよ。



電気回路の設計図みたいに、液体の行き先と働きを、考えて描くんだ！



補足　細胞を扱うときは、せん断力、栄養、酸素、温度、表面への接着なども設計条件になる。

# 21　シリコンとシリコーンは、別もの

透明でぷにっとした、この材料もシリコンなの？



半導体のシリコンは元素Si。こちらはシリコーンという高分子材料の仲間だ。



よく使うPDMSは、ポリジメチルシロキサン。固めると、透明で柔らかいゴムになる。



名前が似ていても、性質は違うんだね。硬い基板と柔らかい流路、使い分けよう！



補足　PDMS = polydimethylsiloxane。シリコーンはSi–Oの骨格に有機基をもつ高分子で、元素シリコンとは区別する。

# 22　型を写して、トンネルをつくる

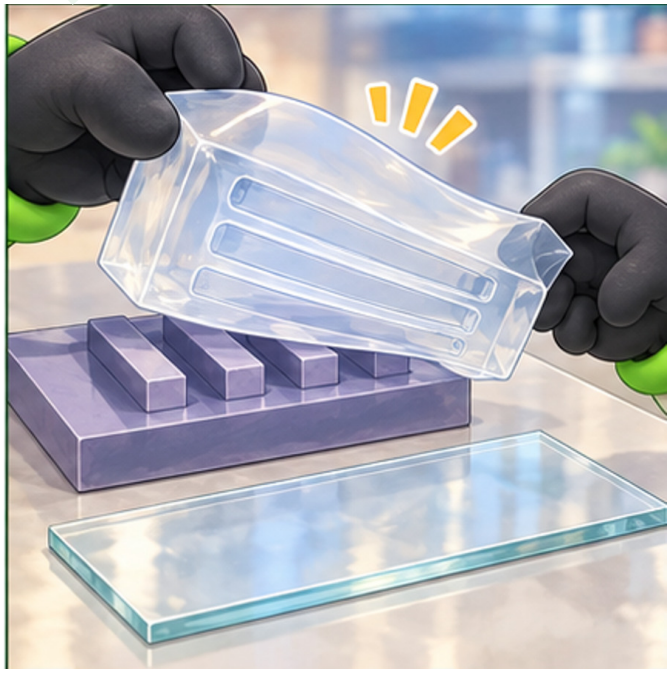
柔らかいPDMSにも、細い流路を彫るの？



凸の模様をもつ型に、液状の材料を流して固める方法がある。



はがすと、模様が凹の溝として写る。その面をガラスなどに接合すると、ふたができる。



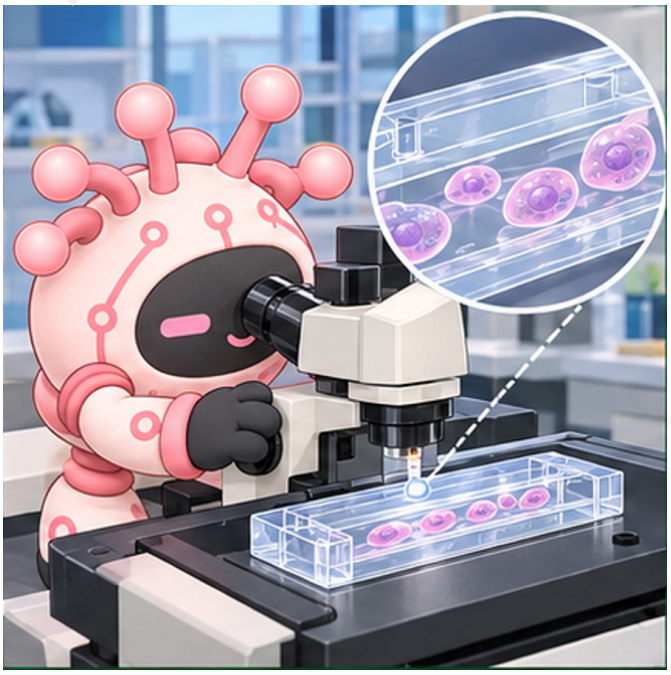
入口と出口をつければ、トンネルになる！　型をつくるところに、光の加工が生きるね。



補足　ソフトリソグラフィの代表例。型づくりにフォトリソグラフィを使うことがある。接合・入口加工・漏れの確認も必要。

# 23　生き物に合うか、確かめよう

透明だから、流路の中の細胞を観察しやすいね。



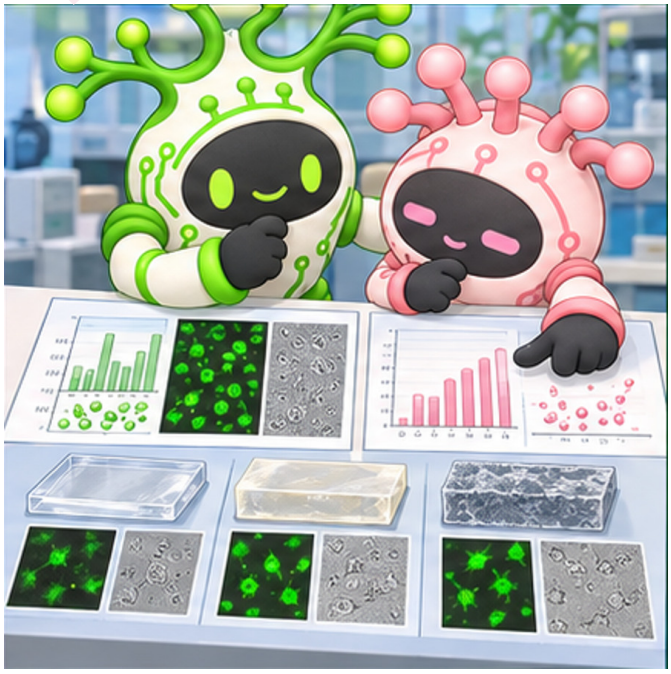
PDMSは光を通し、柔らかく、気体も通しやすい。細胞実験で広く使われてきた。



一方で、薬などを吸収したり、溶媒で膨らんだりする場合もある。条件ごとの確認が大事だ。



「生体適合性がある」だけで安心せず、測りたいものや培養条件に合わせて選ぶんだね。



補足　生体適合性は材料名だけで決まらない。配合・硬化・洗浄・表面処理・接触条件などを含めて評価する。

# 24　有機材料には、新しい加工を

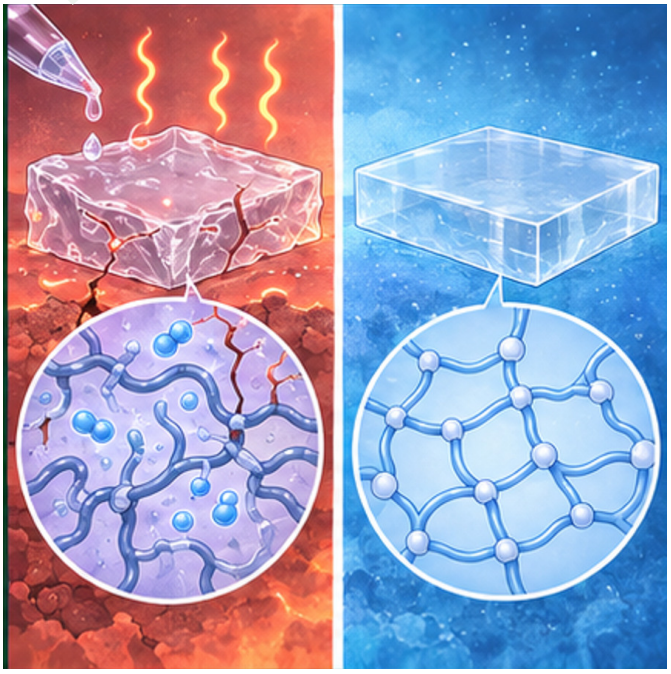
半導体やMEMSの技術を、柔らかい電子材料にも使いたい！



そこが吉田研の研究につながる。機能をもつ有機・バイオ材料を、精密に形にしたいんだ。



従来の溶媒や熱、プラズマに弱い材料もある。そのまま加工すると、性質を失うことがある。



材料の機能を守りながら形をつくる。そのための加工法を、開発するんだね。



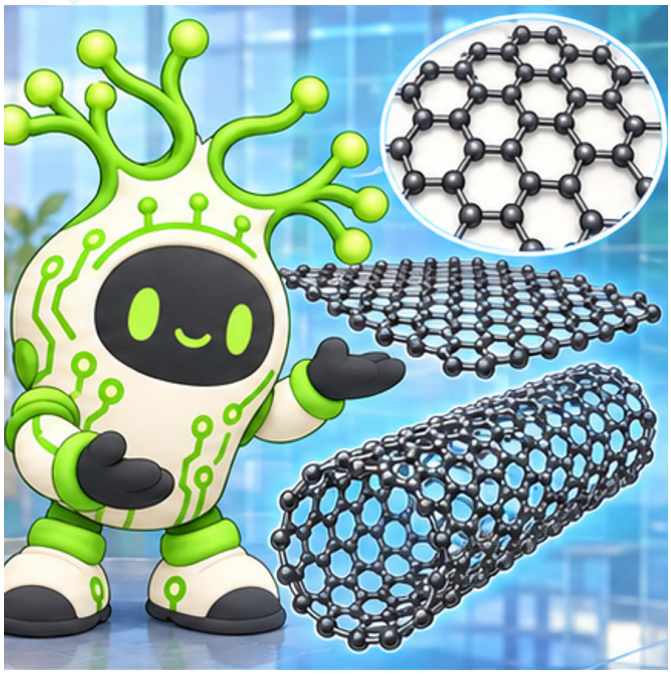
補足　有機材料すべてにフォトリソグラフィが使えないわけではない。材料と工程の組合せによって、保護・改良・別手法が必要。

# 25　炭素の形が、働きを変える

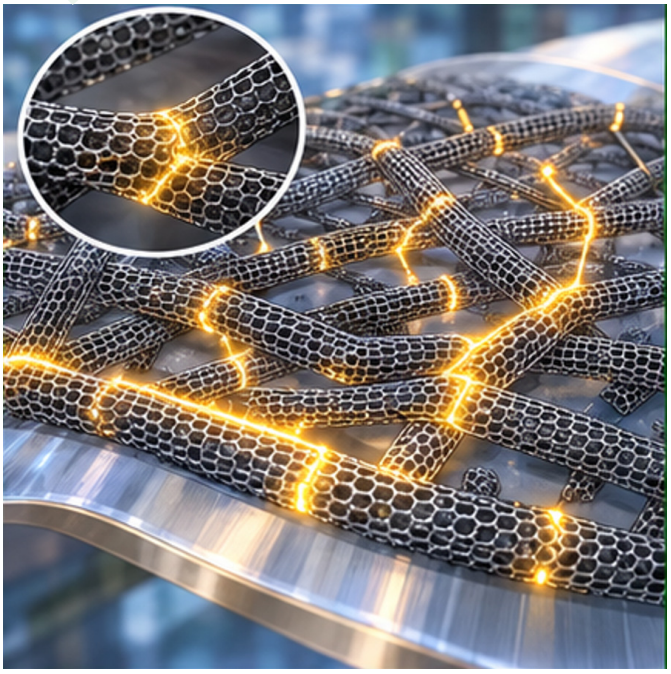
黒い粉や細い繊維も、回路の材料になるの？



例えばグラフェンやカーボンナノチューブ。炭素の並び方や形を利用する材料だよ。



つながったネットワークをつくれば、導電性の膜や配線に使える。分散や接触も大切だ。



材料が電気を通しても、粒や管がばらばらでは、長い道にはならないんだね。



補足　これらは炭素ナノ材料で、厳密には通常の有機分子と区別する。CNTには構造によって金属的・半導体的なものがある。

# 26　電気を通す高分子、PEDOT:PSS

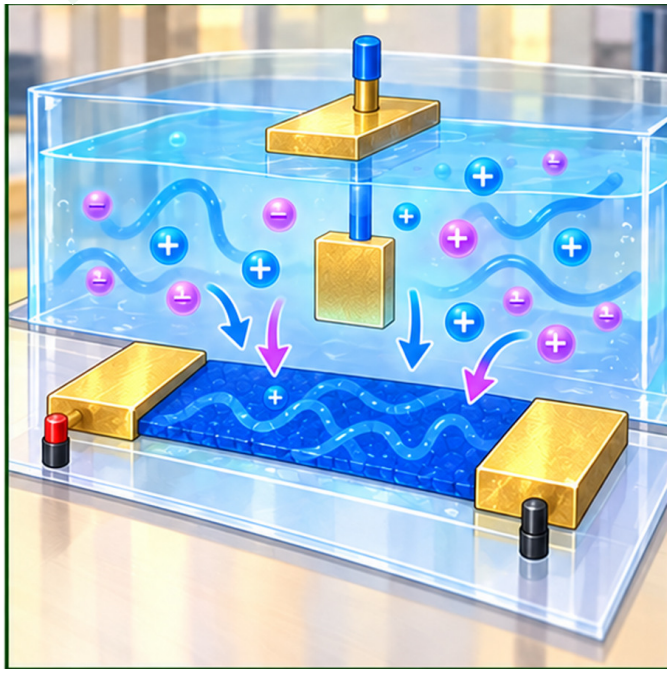
高分子というと、電気を通さないプラスチックの印象だな。



電気を通す高分子もある。PEDOT:PSSは、導電性高分子を含む代表的な材料だよ。



電極として使ったり、イオンで導電性を変えるトランジスタに使ったりできる。



材料の名前だけで役割は決まらないんだ。電極にするか、調節する素子にするかで工夫するね。



補足　ここではPEDOT:PSSを導電性高分子として紹介。一般的な有機半導体のFETと、イオンを使う有機電気化学トランジスタは区別する。

# 27　ゴムとゲルも、電子デバイスへ

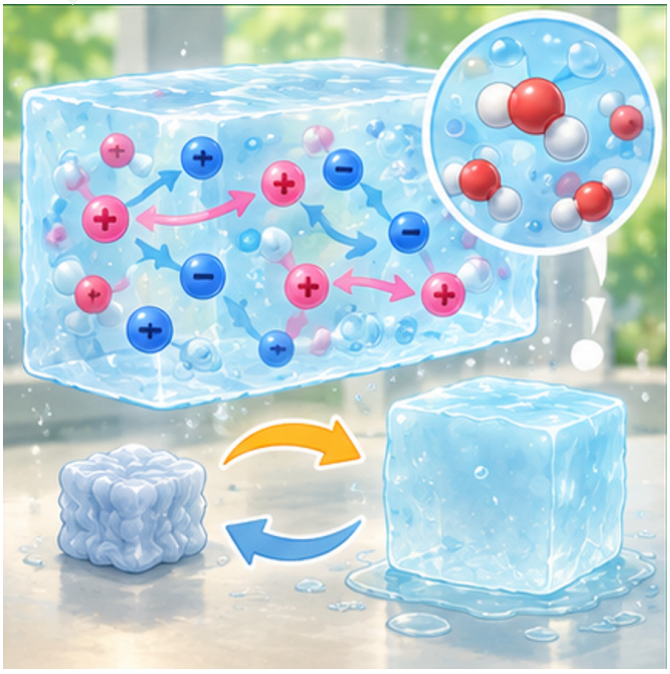
電気を通す材料のほかには、何を加工するの？



ゴムなどの絶縁材料や、ゲルも扱うよ。ゲルは網目の中に溶媒を抱えた材料だ。



水を含むハイドロゲルなら、柔らかさやイオンの動きを利用できる。乾燥や膨潤にも気を配る。



固体だけの回路とは違うね。水分まで含めて、形と機能を設計するんだ。



補足　ゲルには有機高分子以外を骨格にするものもある。本編は高分子ゲルを中心に説明。すべてのゲルが電子をよく通すわけではない。

# 28　固体の材料を、インクにする

柔らかい材料なら、印刷機で回路を描けないかな？



できる材料があるよ。溶かす、粒子を分散する、液体の前駆体を使うなどしてインクにする。



粘り、ぬれ、乾き方を調整しよう。印刷できても、乾いた膜が働かなければ意味がない。



常温で固体でも、インクとして運べるんだね。材料の配合から、加工が始まっている！



補足　有機物がすべて常温で液体になるわけではない。印刷には金属粒子のインクもある。溶媒・添加剤・乾燥条件の設計が重要。

# 29　小さな液滴で、線を描く

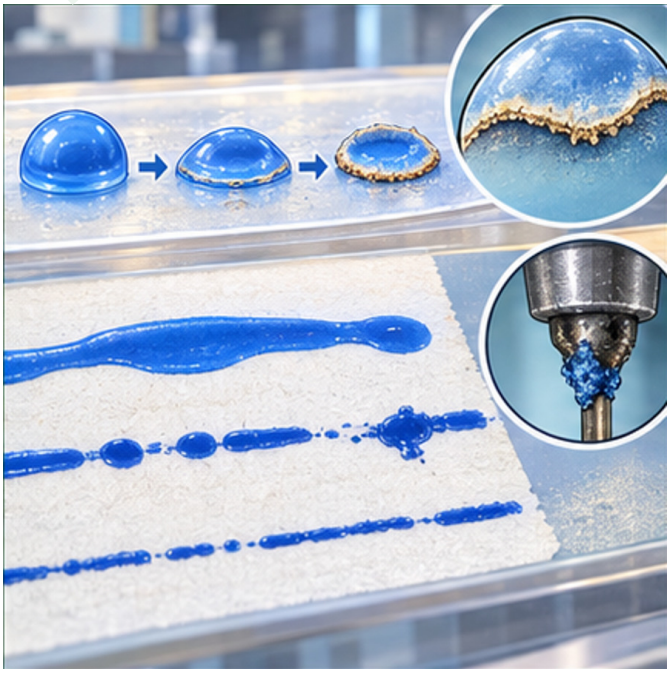
インクジェットなら、好きな形をそのまま描ける？



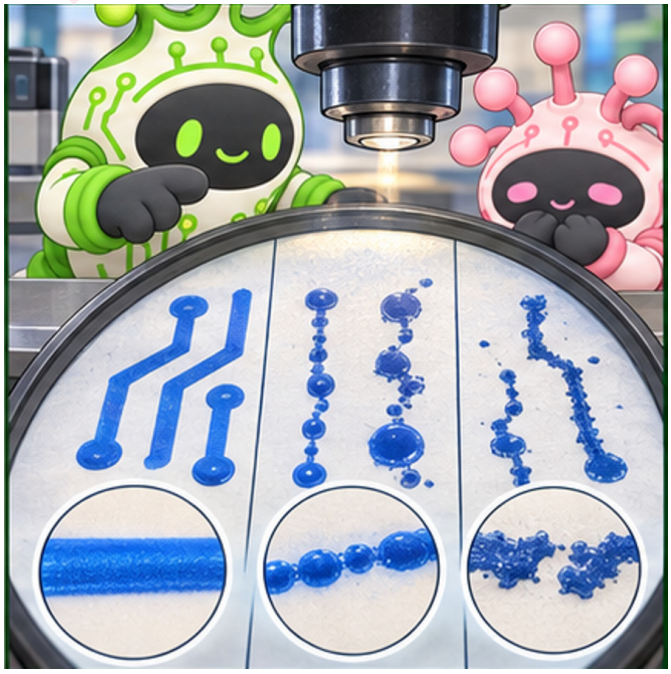
設計データに沿って小さな液滴を置ける。版をつくらず、模様を変えやすいんだ。



ただし、液滴の広がりや乾燥で線が太ったり切れたりする。ノズルの詰まりも課題になる。



狙った場所へ落とすだけじゃない。着地してから膜になるまでを、考えるんだね。



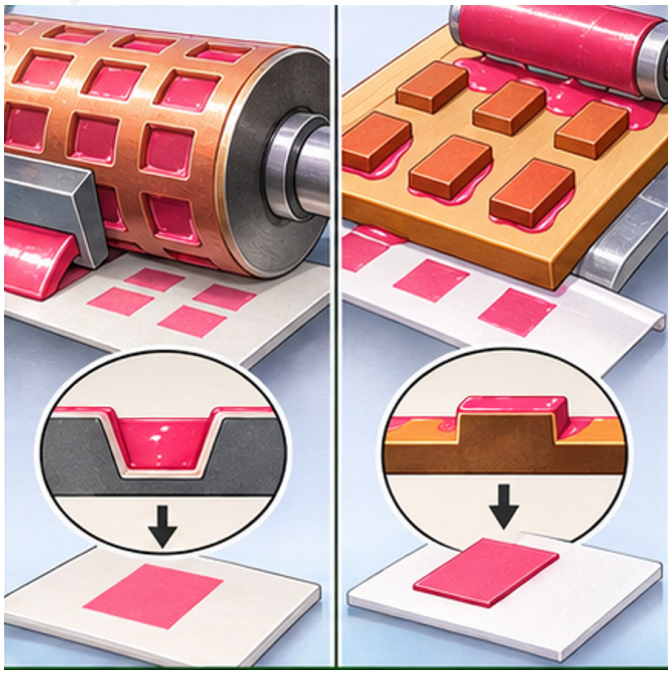
補足　印刷精度はノズルだけでなく、インクと基板表面、液滴間隔、乾燥などに依存する。最先端シリコン回路の寸法と同一視しない。

# 30　凹版・凸版・スクリーン

液滴で描く以外にも、印刷の方法がある？



凹版はくぼみにインクを入れて写す。凸版は出っぱった部分につけたインクを写す。



スクリーン印刷は、版の開いた部分を通してインクを押し出す。厚い膜にも向く方法だよ。



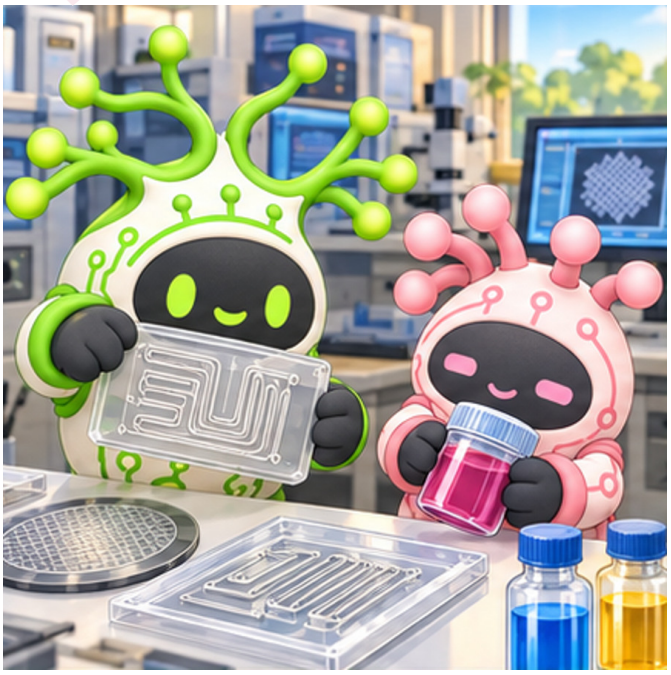
形を写す仕組みが違うんだね。線の細さ、膜の厚さ、材料に合わせて選ぼう！



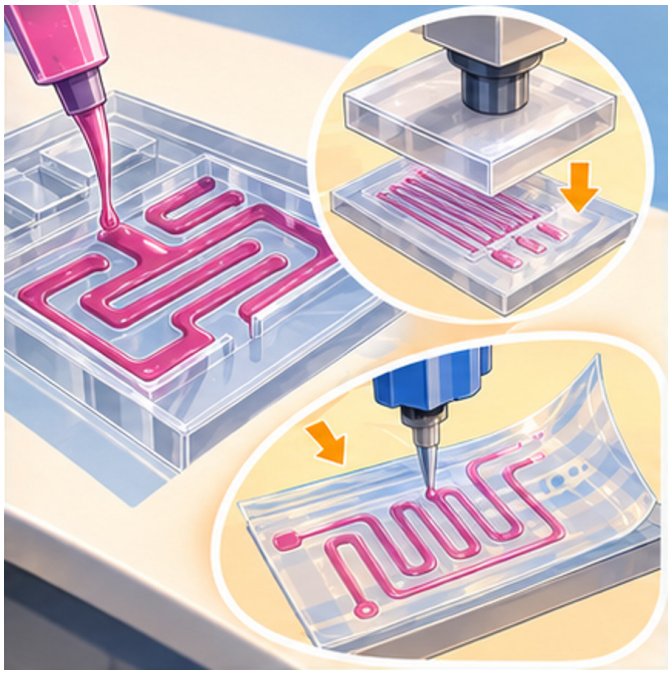
補足　凹版・凸版・スクリーンは版を使う代表例。流路へ材料を充填する加工は、凹版で転写する印刷とは区別して考える。

# 31　微細加工と印刷を、組み合わせる

光の加工は細かな型づくりが得意。印刷は材料を置くのが得意。両方使えそう！



例えば微細加工で溝や型をつくり、機能性インクを充填・転写する。組合せが加工の選択肢を広げる。



吉田研では、有機材料の機能を生かすために、MEMSの加工技術と印刷技術を融合する研究を進める。



既存の工程をつなぐだけでなく、材料に合う新しい工程そのものを、発明していくんだね！



補足　具体的な材料・工程は研究課題ごとに異なる。図は融合加工の考え方を示す例で、特定の完成済みプロセスや性能を保証しない。

# 32　材料から、クリーンルームへ

自分だけの材料で、自分だけのデバイスをつくってみたい！



まず働きを決め、材料を合成・調製する。必要な形を設計して、工程を組み立てよう。



クリーンルームでは、ほこりを抑えながら装置で加工する。小さな異物が、大きな欠陥になるんだ。



設計図と材料を持って、ものづくりの現場へ。装置の原理も、使い方も身につけたいな。



補足　研究で使う装置・薬品には教育と手順がある。安全管理や記録、清浄度の維持も、研究者が学ぶ大切な技術。

# 33　できた？　測って、考えよう

線はきれいにできた！　これで成功かな？



寸法や膜厚、電流などを測ろう。曲げた後や、水に触れた後の変化も、用途に合わせて調べる。



狙いと違ったら、材料か形か工程か、原因を分けて考える。条件を記録し、次の試作につなぐんだ。



失敗も、次の設計を教えてくれるね。つくる、測る、考えるを、何度も回そう！



補足　再現性と比較が大切。複数試料や対照条件を使い、材料・寸法・測定環境の違いを切り分ける。

# 34　小さな加工から、自分の研究へ

最初は、半導体を小さくする話だったのに、細胞や柔らかい回路まで来ちゃった！



微細加工は、電気・機械・化学・生物をつなぐ道具なんだ。何を実現するかは、君の問いから始まる。



吉田研では材料を考え、加工し、電子デバイスをつくる研究を通して、半導体と微細加工の基礎を学べるよ。



次は、どんな機能をつくろう？　小さな一歩から、自分だけのデバイスへ！



補足　本編はご提供の研究説明と研究室の公開情報をもとに構成。回路・電磁気・材料などの基礎と、実際の試作・評価を結びつける。

# 用語索引 1 / 2

数字は冊子のページ番号。目次から戻って読み直すと、工程どうしがつながります。


IC　3

トランジスタ　3

導電体　4

絶縁体　4

半導体　4

MOSFET　5

ゲート　5

電場　5

集積化　6

微細化　6

漏れ電流　6

μm　7

nm　7

寸法　7

ウエハー　8

成膜　8

レジスト　9

スピンコート　9

フォトリソグラフィ　10

露光　10

現像　10

フォトマスク　10

エッチング　11

剥離　11

選択性　11

アライメント　12

多層配線　12

光リソグラフィ　13

電子線描画　13

EUV　13

ドーピング　14

イオン注入　14

n型　14

p型　14

正孔　14

素子構造　15

電気特性　15

プローブ測定　15

MEMS　16

微小電子機械システム　16

加速度センサ　17

静電容量　17

慣性　17

アクチュエータ　18

MEMSスピーカー　18

圧電　18

犠牲層　19

リリース　19

梁　19

マイクロ流体　20

Lab-on-a-Chip　20

μTAS　20

# 用語索引 2 / 2

数字は冊子のページ番号。目次から戻って読み直すと、工程どうしがつながります。


層流　21

拡散　21

粘性　21

細胞操作　22

濃度勾配　22

マイクロミキサー　22

シリコン　23

シリコーン　23

PDMS　23

ソフトリソグラフィ　24

モールディング　24

接合　24

生体適合性　25

吸収　25

細胞培養　25

有機材料　26

工程適合性　26

微細加工　26

カーボンナノチューブ　27

グラフェン　27

導電ネットワーク　27

PEDOT:PSS　28

導電性高分子　28

有機電気化学トランジスタ　28

ゲル　29

ハイドロゲル　29

膨潤　29

ゴム　29

インク　30

溶液　30

分散　30

ぬれ性　30

インクジェット　31

乾燥　31

コーヒーリング　31

凹版印刷　32

凸版印刷　32

スクリーン印刷　32

融合加工　33

マイクロ流路充填　33

転写　33

吉田研究室　33

材料合成　34

クリーンルーム　34

プロセス設計　34

評価　35

再現性　35

実験計画　35

研究　36

電子デバイス　36

基礎と応用　36

# 参考資料 1 / 2

タイトルをクリックすると資料が開きます。閲覧日：2026年11月2日

**[01] 吉田研究室｜研究内容**

研究室の方向性・印刷型有機回路など。具体的な研究体験の構成には、ご提供いただいた原稿も用いた。

対応：本文 24, 31, 32, 34

**[02] ASML｜Six crucial steps in semiconductor manufacturing**

成膜、レジスト、露光、エッチング、イオン注入の概観。

対応：本文 06, 07, 08, 09, 12, 13

**[03] ASML｜Lithography principles / Light & lasers**

光リソグラフィとDUV・EUV。光でもナノメートル領域を加工できる。

対応：本文 11

**[04] JEOL｜Electron Beam Lithography System**

電子線による直接描画とマスク作製。

対応：本文 11

**[05] MEMS and Nanotechnology Exchange｜Fabricating MEMS**

薄膜の加工、表面マイクロマシニング、犠牲層とリリース。

対応：本文 14, 17

**[06] MEMS and Nanotechnology Exchange｜Lithography**

感光膜の模様を、下の材料の加工へ利用する考え方。

対応：本文 07, 08, 09, 10

**[07] Bosch Sensortec｜What Are MEMS Sensors?**

機械的変化を電気情報に変換するセンサと加速度センサの構造。

対応：本文 14, 15

**[08] xMEMS｜Piezo MEMS silicon solutions**

圧電効果で膜を動かし、空気流・圧力を生む応用例。

対応：本文 16

# 参考資料 2 / 2

タイトルをクリックすると資料が開きます。閲覧日：2026年11月2日


### [09] Whitesides | The Origins and the Future of Microfluidics

Nature 442, 368–373 (2006)。微小流体、実験機能の集積と応用。

対応：本文 18, 19, 20

### [10] Whitesides研究室 | Microfluidic systems in PDMS

Electrophoresis 23, 3461–3473 (2002)。PDMSとソフトリソグラフィ。

対応：本文 21, 22, 23

### [11] Elkem | Silicon versus silicone: What’s the difference?

元素シリコンとシリコーンの区別。

対応：本文 21

### [12] Design considerations to minimize drug absorption

ポリマー製臓器チップでの薬物吸収の検討。材料特性が測定に与える影響。

対応：本文 23

### [13] MicroChemicals | Photolithography Trouble Shooter

溶媒・現像液などと、加工対象の材料との適合性。

対応：本文 24

### [14] Heraeus Epurio | Clevios conductive polymers

PEDOT:PSSの導電性高分子、分散液、印刷・電極への応用。

対応：本文 26, 28, 29, 30

### [15] 東芝デバイス&ストレージ | トランジスターとは

ゲート電圧によるチャネル形成と、トランジスタの役割。

対応：本文 01, 02, 03, 13

### [16] 吉田研ニュース | グラフェン微細加工の研究例

2026年4月22日。SU-8の潜像を利用したグラフェン微小電極加工の紹介。本編31の図は一般的な融合加工の概念図。

対応：本文 25, 31


## 制作について

研究説明をもとに会話を構成し、原理と用語を資料で確認。作画には内蔵画像生成ツールを使用し、日本語の台詞は別途組版した。登場人物の会話と図は説明用の創作・模式図。工程は概念を学ぶために簡略化している。

研究室で取り組む方向性と、関連分野の一般的な原理・応用例を区別して紹介した。個別の装置保有や、特定の完成済みデバイスの性能を表すものではない。