

研究室訪問記 2024 年度 奨励助成（デバイス）

訪問日 2025 年 11 月 10 日

名古屋大学 工学部 助教

研究題名：フレキシブルセンサシステムの構築に向けたチップレット技術の開発

名古屋大学 内山先生の研究室に訪問して、これまでの研究や助成研究についてお伺いしました。（図 1）

プロフィール

学生の頃は、ダイヤモンド（固いもの）中の欠陥である NV 中心の量子状態をカーボンナノチューブ（CNT）で制御するような研究をしていました。ポスドクの時にはグラフェンに代表されるような二次元材料を使ったトランジスタを研究していました。そのような経験を経て、今は柔軟で柔らかい、人にきちんと密着するようなデバイスについて、既存のものに比べて性能が圧倒的に高いものを作りたいというモチベーションで研究を始めました。デバイス（柔らかいもの）だけでなく、その周辺の物理的な研究まで広く手掛けている状況です。柔らかい薄膜上にデバイスを形成するのですが、デバイスを作るには 2 週間ほど掛かります。当初は、デバイスを基材から剥がして 1 回測定すると、くしゃくしゃになって測れなくなってしまうというところに苦勞を感じました。最近は、剥がす速度や力加減を条件だして成功率も上がってきました。うまくできたときはすごくうれしいです。

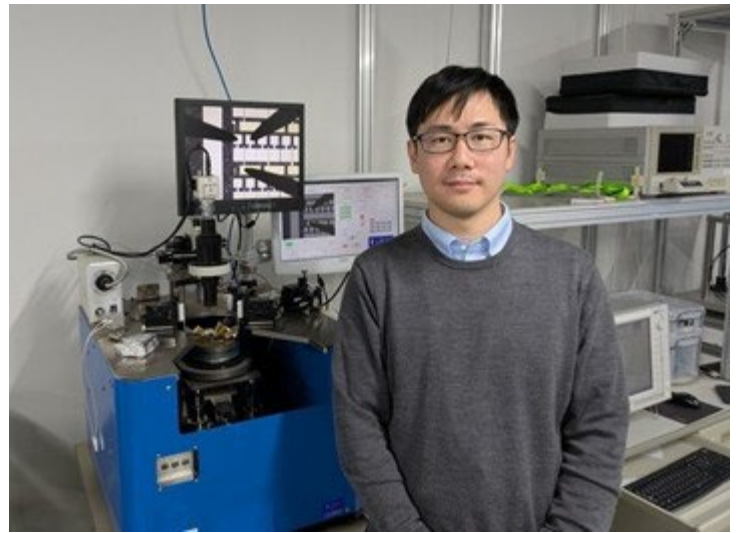


図 1 内山先生

研究助成の概要

現在取り組んでいるアイデアとしては、柔らかい基板の上にシステムを全部作り込もうということです。そのときの問題点は、トランジスタ 1 個 1 個のばらつきです。なので、作ったトランジスタを 1 個ずつ切り貼りして回路を作るということを着想しました。シリコンの先端半導体でやられているチップレットという技術と近い考え方になります。フレキシブル材料で高性能なセンサーなどもできているのですが、回路に組み込むことを考えるとプロセスの温度や使用する薬品に親和性がなくて駄目になるというのがあります。チップレットの発想で行くと、いろんな機能を集積化できるだけでなく電気特性の向上も見込むことができます。1 つの実施例としては、まずは柔らかい基板の上にナノチューブデバイスを作ること。できたデバイスを剥がして、別の基板に貼り付けます。そうして集積回路を作ろうというところを進めています。

助成頂いている研究内容として、まず第一に、ダメージレス剥離技術の確立があります。剥離させる層（犠牲層）にフッ素樹脂を用いて、その上の柔軟な薄膜の上にチャネル長 5 μm のトランジスタを作成し、剥がす前後で電気特性が変わらない、すなわち、プロセス中の機械的なストレスでデバイスが壊れないことを確認し

ました。

具体的には支持基板からの剥離や半径4.75mmの曲げによる特性劣化が無いことを確認しました（図2）。

二つ目は転写プロセスです。作ったデバイスを切り分けて別の基板に移すプロセスです。今開発している手法としてはPDMSを用いた方法です（図3）。

これはPDMSというゴムみたいなものをデバイスに押し付け、持ち上げると一緒

に持ち上がり、別の基板に持ち上げるスピードや温度を変えると移せるという方法です。今のところ、持ち上げて移動させるというのが出来ている状況です。ですが、100%の確率ではありません。ピックアップの話でいうと、二次元材料を扱っていた時に大体の条件を出していました。なので、これはもう簡単にできるだろうって見込んでいたのですがマッチングする条件が違うようで、具体的には、剥離する際のステージの温度とか、PDMSを剥がすときのスピードなどです。そのあたりの条件出しに苦労します。その辺はこつこつとやっていくしかなくて、今、時間をかけてやっているところです。PDMSの材質や硬さ、温度などを調整する必要があるのですが、要素技術としては徐々に確立しつつある状況です。

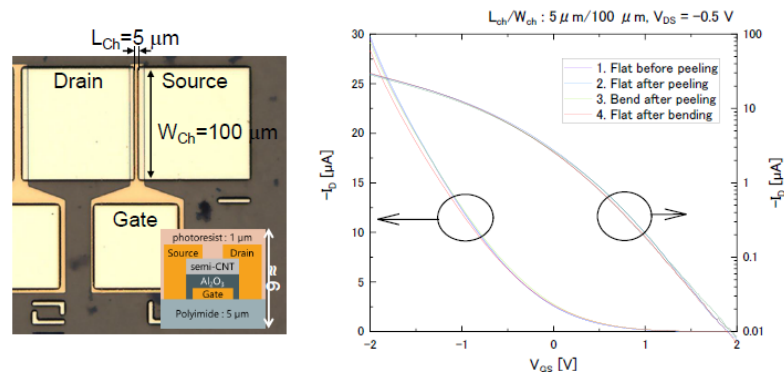


図2 剥離前後、曲げによる電気特性の変化

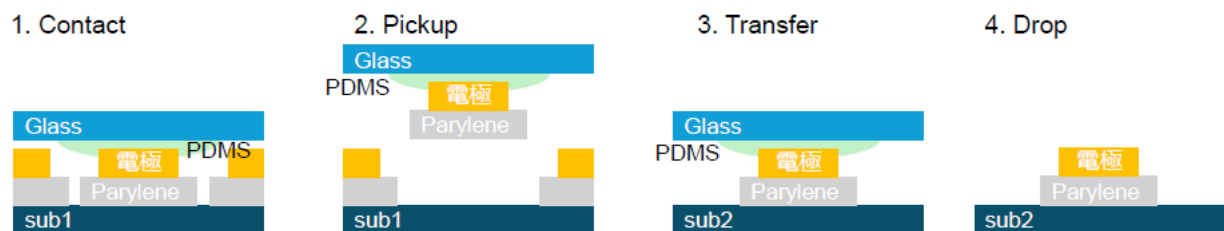


図3 転写プロセス

課題と今後

ウェアラブルを目指すにあたり、電源の問題があります。それについては、エナジーハーベスティングの技術を使うことを考えています。着衣の摩擦から発電や、汗の成分であるグルコースから電源を得ることを考えています。

我々の研究室ではフレキシブルセンサをいろいろやってみて、そろそろ生体への実装に移行したいと考えています。ただし、我々の中だけですとセンシングの対象を選定するアイデアに限りがあります。そのあたりは医学部の先生方とディスカッションして有益な対象物を探していかなければいけない。将来的には体内のセンシングも考えています。そうすると、ハードルがグッと上がるのですが研究の幅は格段に広がります。