

次世代情報産業を担う半導体デバイスのための次世代材料・プロセス開発

名古屋大学大学院・工学研究科・結晶材料工学専攻 財満・小川研究室

現代社会を支える半導体技術

インターネットに代表される高度情報処理社会を支えているのは、コンピュータをはじめとする電子機器であり、その中核部分を担っているのが半導体装置（デバイス）です。さらに半導体材料は、様々な電子機器の中で、重要な部分に利用されています。現代の私たちの豊かな生活は、半導体技術がなくては成り立ちません。



Q. 半導体デバイスはどんな分野で使われているだろう？

半導体とは？

物質は、銅やアルミニウムなどの電気をよく流す“**導体**”と、ガラスやプラスチックのようにほとんど流さない“**絶縁体**”とに分類することができます。さらに、導体と絶縁体の中間の性質をもつものが“**半導体**”です。半導体材料のうち、最も代表的なものがシリコンです。

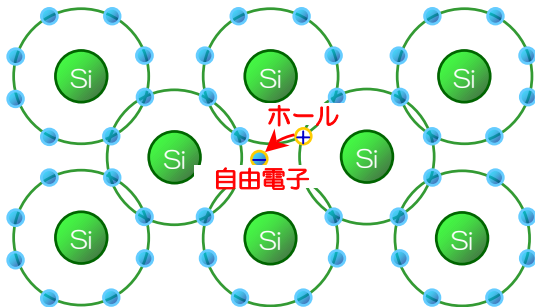
Q. シリコン以外にはどのような半導体材料があるだろう？

半導体の電気伝導制御

純粋な半導体中に、極々微量の不純物を加えようと、その性質を大きく変えられます（これをドーピングと言います）。半導体の抵抗率は、ドーピングする元素の量で大きく変わります。また、ドーピングする不純物の種類で、p型とn型という2種類の半導体を作れます。

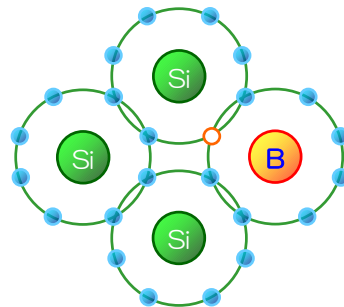
シリコンに、ボロンや砒素などをドーピングするとp型の、燐やアンチモンなどではn型の半導体を作れます。p型・n型の半導体と絶縁体、導体とを組み合わせることで、様々な機能をもつ半導体デバイスを作製できます。

純粋なシリコン(Si)のできた半導体 (真性半導体)



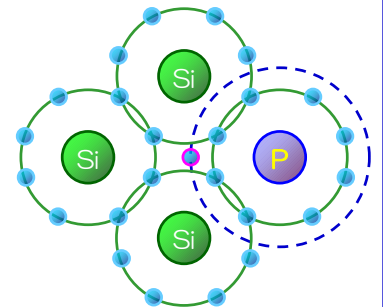
シリコンの原子核のまわりを回っていた電子が飛び出て自由な電子となり、電気伝導現象を生み出す。同時に、電子の抜けた穴（ホール）も電気伝導に寄与する。

ボロン(B)がドーピングされたSi (p型外因性半導体)



ボロン原子核のまわりは、電子が一個少なく、ホールがでやすい。正電荷が伝導する。

燐(P)がドーピングされたSi (n型外因性半導体)



燐原子核のまわりは、電子が一個多く、自由電子がでやすい。負電荷が伝導する。

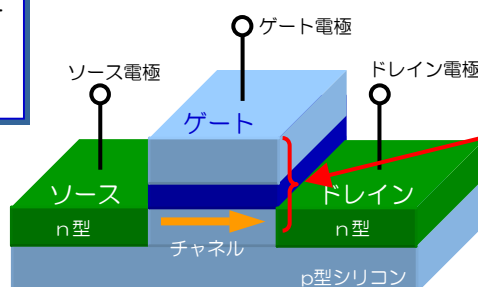
半導体でなにができる？

半導体を使うと、様々な機能を持った装置（デバイス）が作製できます。半導体デバイスで重要な3つの働きが、“増幅”、“スイッチ”、“記憶（メモリー）”です。これらの機能を組みあわせることで、コンピュータなどに応用される、複雑で高度な情報処理機能が実現されます。

MOS型トランジスタ

集積回路などの半導体デバイスにおいて、最もよく用いられている素子の一つが、金属-酸化物-半導体（MOS: Metal-Oxide-Semiconductor）型トランジスタです。MOS型トランジスタは、スイッチ、増幅などの役割を担っています。

MOS型トランジスタの模式図



MOS構造

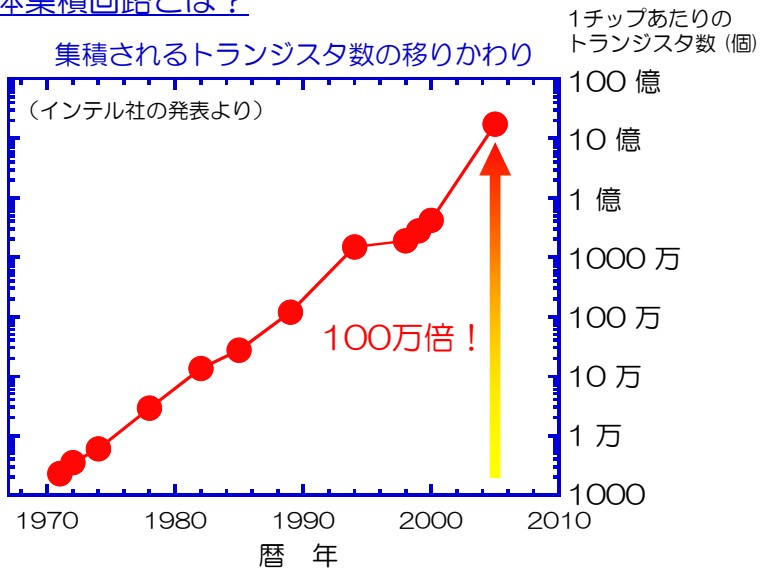
- 金属：多結晶シリコンなど
- 酸化物：二酸化シリコン（絶縁体）
- 半導体：シリコン

Q. MOS型トランジスタの動作原理について調べよう！

半導体集積回路とは？

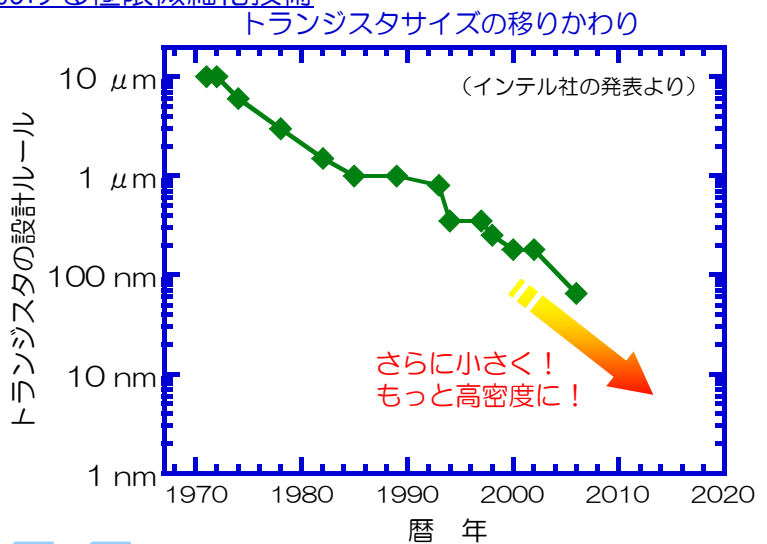
半導体で作られたトランジスタなどの回路素子を複数個集めて、複雑で高度な機能を実現したものが集積回路（IC: Integrated Circuits）です。1958年にICが発明されてから、集積される素子の数は年々倍増し、今日では一つのチップに10億個以上の素子が組み込まれた、超々大規模集積回路（ULSI: Ultra Large Scale Integrated Circuits）が実用化されています。

一つのチップにいかに多くの素子を集められるか、すなわち集積度の向上は、記憶量の増大、計算処理速度の向上、装置の小型軽量化、新しい機能の追加などの様々な利点をもたらします。



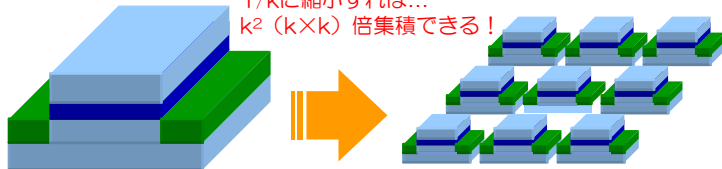
ULSIにおける極限微細化技術

集積回路の集積度向上は、一つ一つのトランジスタサイズの縮小によって成し遂げられます。MOS型トランジスタは、“スケーリング則”という一定の規則に従って、その寸法が年々縮小されてきました。1970年代には、トランジスタの基準となる寸法は10 μ m程度でしたが、近年では100nm（ナノメートル）以下の寸法で設計されたトランジスタを集積したULSIが実用化されています。最先端の研究では、10nm以下で設計されたトランジスタの動作も確認されています。ULSIを実現する微細化技術は、現在、最も実用化の進んでいるナノテクノロジーの一つです。



トランジスタ

1/kに縮小すれば...
k² (k×k) 倍集積できる!



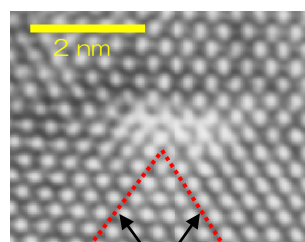
Q. ナノスケールの世界では、どのようなものが見えてくるのか、調べてみよう!

新しい材料の探索と最先端の分析・評価技術

極微細なトランジスタを製造する場合、これまで使われてきたシリコンやシリコン酸化膜の物理的性能の限界から、様々な問題があらわれます。そこで、従来は用いられなかった、様々な新しい材料を導入しようという研究が、世界中で盛んに行われています。

さらに、ナノスケールの半導体素子を実現するためには、これを作製する技術はもちろん、できあがった素子を正しく評価する技術も大変重要です。原子数十個分しかない微細な素子の構造を直接観察できる最先端の電子顕微鏡や、シンクロトロン放射光という新しい光源を用いた分析技術が、ナノサイズのトランジスタの性能評価に役立てられています。

高分解能透過電子顕微鏡像で観察された原子配列像



結晶欠陥(転位): 原子の配列が1列余分に入っている。(余剰半原子面)

世界最大の放射光施設 SPring-8 (兵庫県)



Q. これからのトランジスタにはどんな材料が必要になるだろう?
Q. シンクロトロン放射光について調べてみよう!