

4-3 先端 ICT デバイスラボを活用した新素材デバイス技術

4-3 *Research and Development of Novel Materials and its Device Technologies in the Advanced ICT Device Laboratory*

4-3-1 ラボにおける新素材デバイス技術の全体概要

4-3-1 *Outline of Development Scheme for the Novel Materials and its Device Technologies*

田中 秀吉 山本 直克

TANAKA Shukichi and YAMAMOTO Naokatsu

新材料には未来を一変させる強力な力がある。先端ICTデバイスラボ・神戸クリーンルームでは、新材料として超伝導材料や有機EOポリマー材料などに注目し、その材料自体の発見的な高性能化とデバイス応用に関する研究開発を実施している。本節では新素材デバイス技術の研究開発に対する先端ICTデバイスラボの考え方について紹介する。

Novel materials have the powerful ability to transform the future. At Kobe Clean Room in the Advanced ICT Device Laboratory, we focus on superconducting materials and organic EO polymer materials as novel materials, and conduct R&D on discovering and improving the performance of these materials themselves and their device applications. In this section, we introduce the concept of the Advanced ICT Device Lab for research and development of device technologies using the novel materials.

1 はじめに

4-3 では、新素材の開発・高度化技術とともに、従来デバイスの機能・性能を凌駕する可能性を有する新素材デバイス技術について、NICT 先端 ICT デバイスラボで推進されている以下のデバイス技術を代表例として、その研究成果を示す。

- (1) 電気光学効果 (Electro-Optics) を有する有機ポリマー材料を用いた超高速光変調デバイス技術の研究開発 (本研究報告 4-3-2)
- (2) Nb 系超伝導材料を用いた単一光子検出器や超伝導デジタル集積回路などの多岐な応用にわたる超伝導デバイス技術に関する研究開発 (本研究報告 4-3-3)

2 新素材デバイス技術の難しさと重要性

その昔、青銅器から鉄器の利用が進むことで世界の生活様式が一変した。新素材は社会に革新をもたらし、新たな常識を作り出す強力で魅力的な力を持つ。新素材の研究開発では、発見的要素を多く必要とするため、計画的な研究開発が難しく 10 年単位の長期的研究が

多く存在する。また、新素材の性能を理論的、物性的に示すだけでは技術的・産業的進展は難しく、やはり、デバイス化することで従来デバイスを凌駕する性能を示す、もしくは従来に無い機能を発現させることが肝要となる。このような背景から、先端 ICT デバイスラボでは、新材料開発とそのデバイス応用に関する研究開発を推進している。神戸クリーンルーム (図 1) では、超伝導材料や電気光学効果を有する有機ポリマー材料などの研究開発を進めており [1][2]、また先端 ICT デバイスラボ・光デバイス棟 (NICT 本部) では半導体ナノ粒子である半導体量子ドットを用いた光デバイス [3][4] など、長年にわたる新材料の技術蓄積に基づいた新機能デバイス応用も行っている。

図 2 にデバイス作製工程の一例を示す。当然のことながら新しい機能を有するデバイスを開発するためには、研究者のアイデアが必要となる。そこにはオリジナリティや先進性などの技術的な視点に加え、社会ニーズや製造コストなどの経済的視点も必要になる。デバイスアイデアを基にデバイス構造をより具体的に設計するが、最近では各種シミュレータを利用することができる。例えば、光導波路構造の最適化のための電磁界シミュレータでは有限差分時間領域法



図1 先端ICTデバイスラボ 神戸クリーンルーム拠点

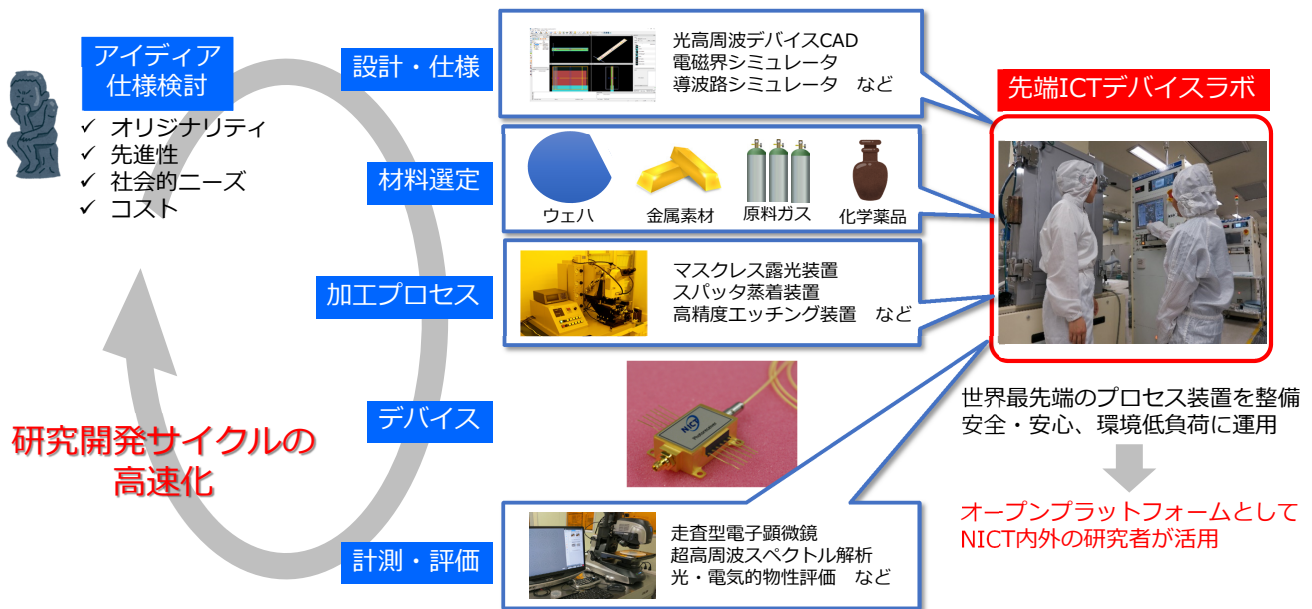


図2 デバイス開発サイクル

(Finite Difference Time Domain Method: FDTD)を用いたり、デバイス内の電流・キャリア分布や熱伝導シミュレーションを同時に計算するようなマルチフィジックシミュレータが広く利用されている。デバイス構造がある程度確定すると、材料や加工プロセスの選定を行い、デバイス作製のノウハウとともにデバイスが完成する。その後、デバイスは所望の特性を得られるかどうか、各種物性評価装置や光・高周波計測装置などを用いることで評価される。このようなデバイス作製サイクルを何度も回すことによって、デバイスの機能は高度化される。先端 ICT デバイスラボ・神戸クリーンルームでは、このようなデバイス加工・評価の工程を行うための施設が一通り整備されており、オー

ブンプラットフォームとして広く利用されている。

さて、新材料開発でもこのようなデバイス開発サイクルを普通に回すことができるのか？という疑問が出る。答えはNoである。新材料はそれ自体が未知のものである。そのためシミュレータにその材料物性は入力されていない、また新材料自体を作ることが難しい、再現性高く新材料を得られないなどの理由からレアであることが多いため、図2の材料選定で苦労することになる。さらに適切な加工プロセスも発見的なところが多くある。一般的な半導体等の材料であれば先人の多くの知見が存在するが、新材料ではそうはいかない。例えば新材料をエッチングするエッチャントは何が適切か、新材料との密着性の高い絶縁膜・金属膜は何か

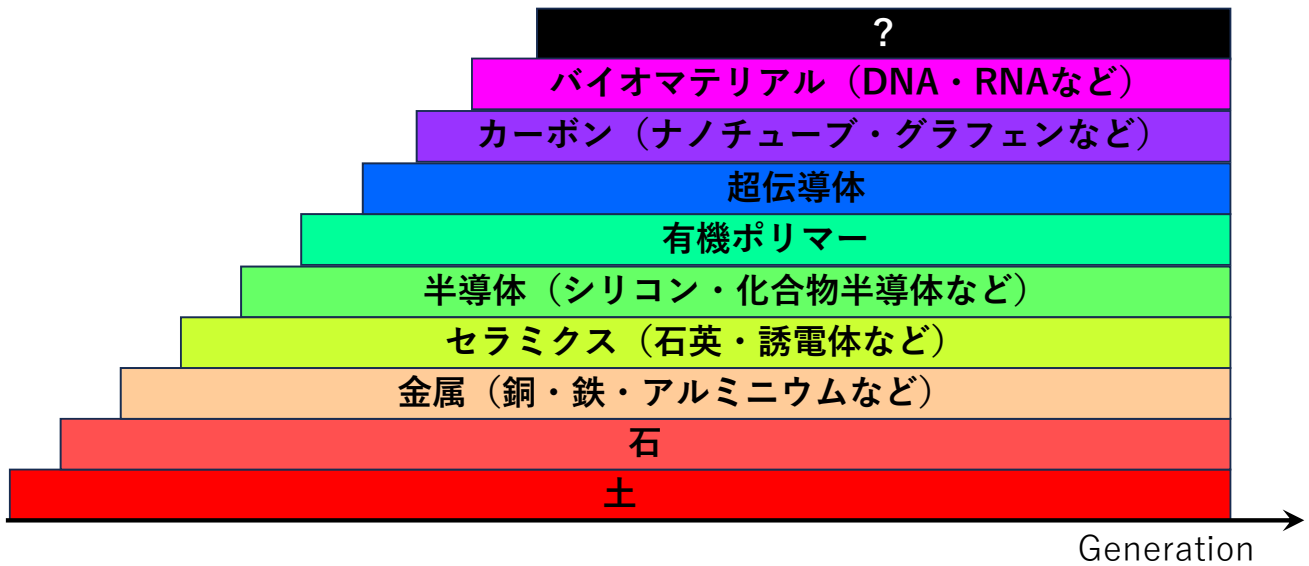


図3 新材料が時代を拓く

など、新材料に相性の良いサブ材料を発見していかななくてはならない。このように、新材料によるデバイスの研究開発では、従来のデバイス製造方法が適用できないことも多くあり、それは発見に基づく新たな知見の創出につながる。このように新材料をゼロから発見・開発し、機能デバイスまで仕上げるには非常に長く険しい道のりが待っている。しかし、図3に示すように過去人類は多くの「新材料」を手に入れ、その広義のデバイス技術を蓄え、新材料を使いこなしてきた歴史がある。新材料の活用は新たなイノベーションにつながることは歴史が教えてくれる。例えば、金属やセラミクスの発見とそのデバイス利用により電気モーターが開発され産業革命の一翼を担うこととなった。さらに半導体の発見とそのデバイス利用により、コンピュータ産業が発展し現在の情報社会が確立している。今後、有機ポリマーや超伝導、量子ドットなどの新材料が新たな時代を形作っていく可能性は極めて高いと考える。

脱炭素社会をめざし「グリーントランスフォーメーション (Green Transformation: GX)」が推進されている [5] が、この GX に貢献するために先端 ICT デバイスラボでは新材料デバイス研究を積極的に推進したいと考えている。先の説明の通り、新材料デバイスの研究開発では長期的な研究開発視点が求められるものの、超伝導や有機ポリマー、半導体量子ドットなどの新材料には社会を変える大きな力が秘められていると期待している。さらに先端 ICT デバイスラボはオープンな研究拠点であることから大学などからの新たな材料の提案を受け入れるような形で、新規デバイスの研究を

推進できれば良いと考えている。先端 ICT デバイスラボから、社会を一変し多くの社会課題が解決できるような「新材料デバイス」が創出されることを願っている。

3 まとめ

新材料の研究開発は発見的な要素が多い。また、材料物性の計測などから始まり、従来技術の適用可否も含めてデバイス加工プロセスの開発など、長い研究開発期間を要することになる。しかし歴史を振り返れば、新材料が社会に大きなイノベーションを起こしたことも事実である。先端 ICT デバイスラボでは、超伝導や有機 EO ポリマーを代表として多くの新材料を主体としたデバイス技術の研究開発を強く推進することで、グリーントランスフォーメーションなどの新たな時代の創出につなげていきたいと考えている。

【参考文献】

- 1 大友明, 山田千由美, 上田里永子, 横濱秀雄, 山田俊樹, “電気光学ポリマーの高性能化と新規光制御デバイスへの応用,” 情報通信研究機構研究報告, 先端 ICT 基盤技術特集号, 2-1-1, 2020.
- 2 寺井弘高, “超伝導ナノワイヤ単一光子検出器,” 日本応用物理学会誌, vol.90, no.3, pp.148-154, 2021.
- 3 Kouichi Akahane, Toshimasa Umezawa, Atsushi Matsumoto, Yuki Yoshida, and Naokatsu Yamamoto, “High temperature operation of quantum dot semiconductor optical amplifier for uncooled 80 Gbps data transmission,” Proc. conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), AW3M.2, 2020
- 4 T. Kita, and N. Yamamoto, “Tunable Lasers: Quantum dots and silicon photonics combine in broadband tunable laser,” Laser Focus World, 11月号, 2015.
- 5 経済産業省, [第3章 GX(グリーントランスフォーメーション)の実現に向けた課題と対応], エネルギー白書 2023.



田中 秀吉 (たなか しゅうきち)

未来 ICT 研究所
神戸フロンティア研究センター
研究センター長／
ネットワーク研究所
先端 ICT デバイスラボ
副ラボ長
博士 (理学)
低次元物質、有機ナノ材料、酸化物、
プローブ顕微鏡、ナノバイオ融合



山本 直克 (やまもと なおかつ)

ネットワーク研究所
フォトニック ICT 研究センター
副研究センター長／
ネットワーク研究所
先端 ICT デバイスラボ
ラボ長
博士 (工学)
半導体ナノ材料、光デバイス、光・電波融合
【受賞歴】
2021 年 電子情報通信学会通信ソサイエティ
チュートリアル論文賞
2015 年 ITU Kaleidoscope Academic
Conference 2015 最優秀論文賞