

バイオの技術が拓く新しい 半導体プロセス・デバイス技術

研究代表者

浦岡 行治

Yukiharu Uraoka

奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 教授



1. はじめに

タンパクなどに代表される生体超分子は、ナノスケールのサイズをもち、また、さまざまな形を持ち合わせている。すなわち、生物の世界には、ナノスケールの豊富な材料がすでに存在している。そこで、我々は、このナノスケールの生体超分子や性質をうまく利用して、新しい半導体プロセスやデバイス構造を創りだそうという“ボトムアップ”プロセスを提案している。バイオの技術と半導体加工技術を融合したこのような研究を我々は、“バイオナノプロセス”[1]と呼んで、新しい学術領域を開拓しようと考えている。

2. バイオナノプロセスとは

タンパクなどに代表される生体超分子には、無機材料にはない、非常に魅力的な特長が数多くある。それらを列挙すると(1)DNAを設計図として構成されているために、組織や構造にばらつきが少ない。

(2)自分で形を作り上げる“自己組織化機能”を持つ。

(3)内部や外部に無機材料を結晶化するバイオミネラリゼーション機能をもつ。

など、枚挙にいとまがない。ここに挙げた特徴は、現在の半導体プロセスにおいて、ナノ構造を安く、再現性良く、歩留まりを高く作り上げるのに必要なことばかりである。また、これまでの半導体分野になかった新たな構造を作り上げられる可能性をも秘めている。まさに、限界に達した半導体加工技術の救世主となる技術になると思われる。

3. バイオナノプロセスを活かした半導体素子

3.1 フラッシュメモリ

まず、われわれは、バイオの技術が半導体デバイス、プロセスに活かせることを実証するために、U S Bメモリなどに代表されるフラッシュメモリの動作実証を試みた。このメモリは、電源を切っても記憶が消えないため、書き込みと消去が一括でき、高速、大容量化が可能で次世代の記憶素

子である。絶縁膜の中に埋め込まれたドット状の電極に電子や正孔を出し入れすることで、情報の記憶動作を行う。この電極に、生体超分子のコアを利用した。ここで、要求されることは、ドットが小さくて(ナノスケール)、均一であること、高密度であること、電気的に孤立していることが必須となるが、バイオナノドットは、これらをすべて満たす格好の材料といえる。

我々は、直径12nm、内径7nmで金属(酸化鉄 Fe_2O_3)を内包するフェリチンタンパクを用いてメモリ作製を試みた[2]。このタンパクを単層に超高密度に半導体基板の上に規則正しく配列させる手法を確立した(図1)。また、内包する金属を酸化鉄から酸化コバルトや酸化ニッケルなどの様々な金属に変えるバイオミネラリゼーション技術を開発した。作製の方法はシンプルで、従来のメモリ製造技術を大きく変える必要がない、極めて整合性の高いものである。半導体基板上に配列されたフェリチンタンパクのUVオゾン処理によって、外側のタンパクのみ完全に除去し、中のコアだけを規則正しく残す。このナノドットを絶縁膜で完全にカバーすることで、絶縁物に埋め込まれたナノドット構造ができあがる。

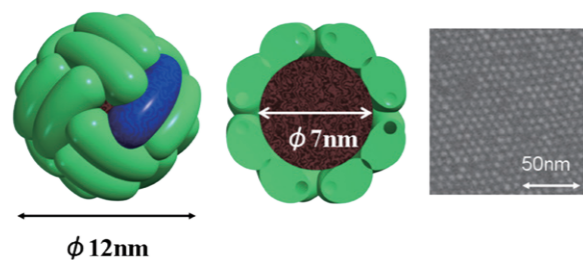


図1 フェリチンタンパク

我々は、バイオナノドットを埋め込んだフラッシュメモリが、非常に高いメモリ機能や高い信頼性をもつことを確認している(図2)。図よりはっきりとしたヒステリシス(メモリーウインドーに対応)が観測され、10万回以上の書き込みも可能であることを実験的に確かめている[3]。

さらにナノドットを積層化する手法(bio LBL法)を用いて、

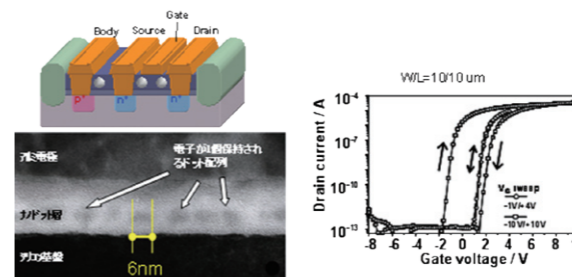


図2 タンパクを用いたフローティングゲートメモリ

三次元構造をもつフローティングゲートメモリの動作実証にも成功している。

3.2 シリコン薄膜の低温結晶化

液晶ディスプレイなどの画素を拡大すると、液晶分子の方向を制御するためのスイッチの役割をする薄膜トランジスタ(Thin Film Transistor)とよばれる小さな素子がある。これは、ガラスの上に作製されたLSI(集積回路)の一部だと考えることができる。すなわち、この性能が高ければ、画素だけでなく、演算、記憶といった高い機能をもつシステムオンパネル(例えばシートコンピュータ)が作製可能となる。このためには、ガラス基板やプラスチック基板の上に、高品質なシリコン薄膜を形成する必要がある。しかし、シリコンウェハーを用いる半導体プロセスと違って、1000°Cもの高温プロセスは使えなく、なるべく低い温度で結晶化する必要がある。

非晶質のシリコン薄膜を低温で結晶化する方法に金属触媒を使う方法(M I L C)が古くから提案され、我々は、この金属として、Niを内包したフェリチンタンパクを利用した結晶化法を試みた(図3)[4]。非晶質のシリコンの上に、このフェリチンタンパクを吸着させ、UVオゾン処理によって外側のタンパクを除去する。ここで、結晶化の核を作り、その後低温熱処理を施す。我々はこの実験によって、10ミクロンを超える大きな結晶粒、従来のM I L C法より1桁低い不純物濃度を確認している(図4)。また、この薄膜を利用して、高い性能の薄膜トランジスタの作製ができている。現在は、結晶核の位置を制御したシリコン薄膜やGe薄膜の作

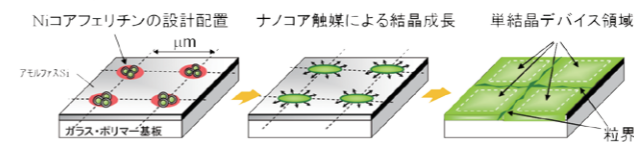


図3 シリコン薄膜の結晶化

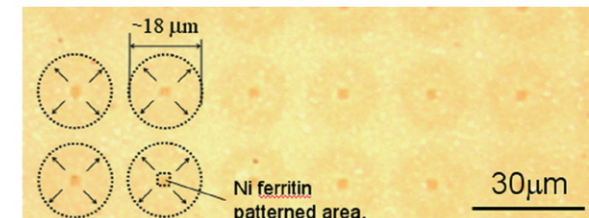
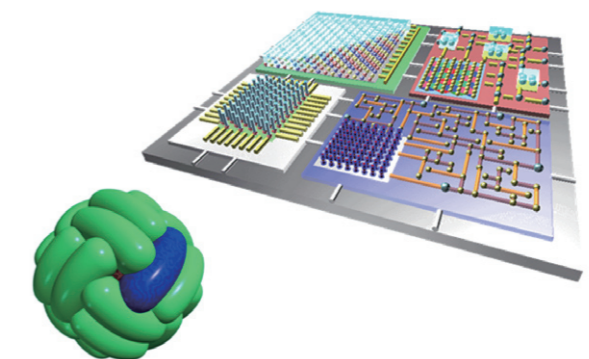


図4 タンパクを利用して結晶化したSi薄膜

製に取り組んでいる。タンパクを利用することで、結晶粒の制御が可能となり、低い不純物密度の半導体薄膜が得られることが、バイオナノプロセスの特徴である。

4. 最後に

このように、生体超分子は半導体技術、MEMS、バイオセンサーなど様々な分野と融合することで、これまではなかった新しい機能を生み出す可能性を秘めている。この研究はまだ、始まったばかりであり、研究の輪を広げていきたいと思っている。



参考文献

- [1] I. Yamashita: Thin Solid Films 393 (2001) 12.
- [2] A.Miura et al, Journal of Applied Physics, Vol.103, No.7, 074503-1~10, 2008
- [3] K.Ohara et al, Applied Physics Express, 4, (2011) 085004.
- [4] H.Kirimura, Appl. Phys. Lett, 86, 262106(2005)