

サブミクロン強誘電体ゲート薄膜トランジスタ

^a JST-ERATO 下田ナノ液体プロセスプロジェクト, ^b北陸先端大
宮迫毅明^a、ヴィグウエン クオツ チン^a、徳光永輔^{a,b}、下田達也^a,

ナノネット事業で初めて可能になった成果

1. 電子ビーム露光器を用いて、強誘電体ゲート薄膜トランジスタで初めて1μm以下のゲート長での動作を実現
2. 200nmのゲート長でも記憶機能が変わらないことを示したことは、高密度記憶回路への応用が可能であることを示した事例である。

【研究概要】

溶液法で電子デバイスのチャンネルを直接形成するとエネルギー効率、資源利用効率を抜本的に改善できる可能性を持つ。なかでも溶液法で作成した薄膜化した酸化半導体をチャンネルと強誘電体ゲートを持つ薄膜トランジスタは、高速動作と低消費電力の両方を持つ新しい不揮発性記憶素子として大いに期待できる。高密度記憶回路への応用の為にはゲート長を縮小する必要があることから、本研究では1μm以下のゲート長において、強誘電体ゲート薄膜トランジスタの作製を行った。

【特記すべき成果の詳細】

作製された素子の概略を図1(a)に示す。ゲート絶縁膜は160nm厚PZT薄膜/20nm厚BLT薄膜、チャンネルは20nm厚ITO薄膜であり、全てゾル-ゲル法で堆積した。50nm厚白金によるソース/ドレイン電極を電子ビーム露光とドライエッチングで作製した。図1(b)に作製された素子の上面からの光学顕微鏡像を、また図1(c)に200nmの設計ゲート幅を持つ素子の3次元AFM像を示す。200nm幅が明瞭に観察できる。

図2(a)には、ゲート長1000nm、300nm、200nmの素子の I_D-V_G 特性を示す。記憶機能を持つ広いヒステリシスループが観察できる。図2(b)(c)にゲート長1000nmと200nmの素子の I_D-V_D 特性を示す。明瞭な飽和特性が観測された。これらの結果から、素子のゲート長を200nmまで縮小しても、記憶機能が変わらないことが示された。

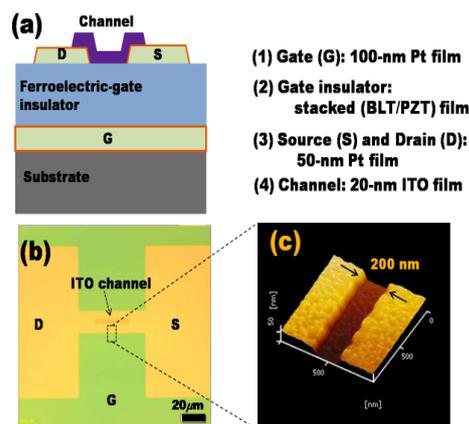


図1(a) 作成した素子の断面概略図とプロセス (b) 上面からの光学顕微鏡像 (c)ゲート長200nmの素子の3次元AFM像

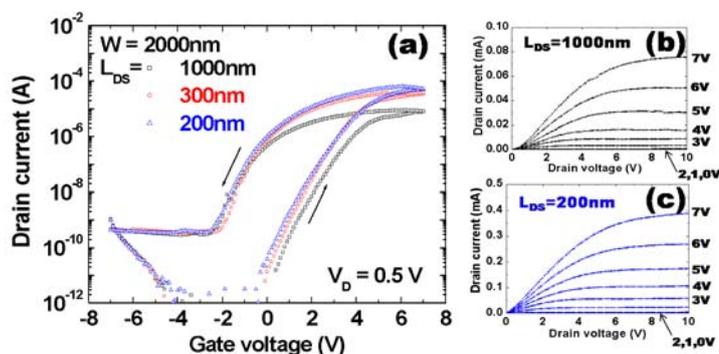


図2(a) 作成した素子の I_D-V_G 特性 (b)ゲート長1000nmの素子の I_D-V_D 特性 (c)ゲート長200nmの素子の I_D-V_D 特性

白金ナノ電極上における金属ナノ粒子の電気化学合成

古河電気工業株式会社 メタル総合研究所
西久保 英郎、石井 智紘

ナノネット事業で初めて可能になった成果

1. ナノめっき法とナノインプリント法を融合させることにより、最適の電極パターンを形成し、その上に金属ナノ粒子を形成した。
2. ナノインプリント法で形成したパターンに、埋め込みめっきにより、表面に適度な凹凸を有するPtめっきナノ電極を作製した。
3. 金属ナノ粒子は数十nmのサイズで揃っており、Pt電極上に分散した状態で析出していることが確認できた。

【研究概要】

金属ナノ粒子の応用として、銀ナノ粒子インクによるプリント回路の作成の報告はあるが、単に原料コストが高だけでなく、マイグレーションという致命的な問題を有している。このため、マイグレーション耐性の高い銅ナノ粒子への移行が望まれている。本研究では電気化学的手法を用いた金属ナノ粒子の生成方法についての探索を行った。

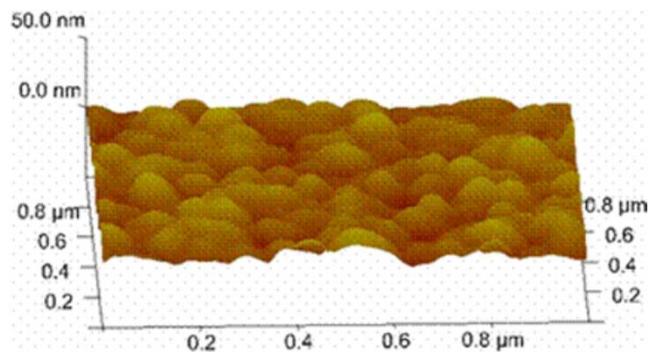


図1：金属ナノ粒子を析出させるためのPtめっき膜のAFM像。めっき浴にポリエチレングリコールを添加して凹凸を増加。

【特記すべき成果の詳細】

金属ナノ粒子を析出させるためのナノ電極としては表面に微細な凹凸があることが望ましい。そのため、ポリエチレングリコールを添加して、基板にPtめっきを行った。これにより、図1に示すように微細かつ表面粗さRaが3.6nmの凹凸を形成することができた。

ナノインプリント法で形成したパターンに埋め込みめっきにより、図2に示すPtナノ電極を作製した。その配列周期は400nmである。これを用い、金属ナノ粒子の析出実験を行った。

図3のSEM像において、Pt電極上で白いドットが金属ナノ粒子である。ナノ粒子は数十nmのサイズで揃っており、Pt電極上に分散した状態で析出していることが確認できた。

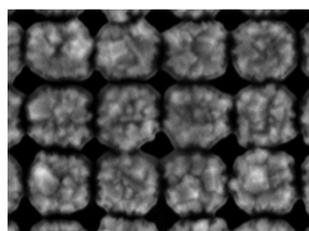


図2：Ptナノ電極のSEM像。

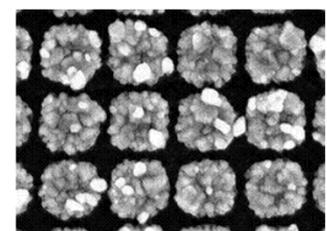


図3：金属ナノ粒子を析出したPtナノ電極のSEM像（白い点がナノ粒子）。

920MHz超高磁場NMRを用いた生体分子の精密構造解析

^a長寿医療センター研究所, ^b理化学研究所, ^c分子科学研究所
柳澤勝彦^a, 山口芳樹^b, 加藤晃一^c

ナノネット事業で初めて可能になった成果

1. 世界最高水準のNMR装置を利用することで、従来NMR測定が困難とされていたアルツハイマー病発症の原因物質であるGM1とAβの超分子複合体の直接観測に成功した。
2. GM1クラスター側の高次構造解析、およびGM1クラスターのナノ界面に捕捉されたAβ分子のNMR構造解析に成功し、GM1クラスター上におけるAβの凝集核形成の機構を解明した。
3. αシヌクレインなどの神経変性疾患関連タンパク質の高次構造解析や薬物相互作用解析を行うための超高磁場NMRの基盤技術を確立することができた。

【研究概要】

アルツハイマー病やパーキンソン病などの神経変性疾患の発症機構を理解するうえで、疾患の原因となるタンパク質凝集のメカニズムの構造基盤を原子レベルで解明することは重要な課題である。本研究では、分子科学研究所の920MHz NMR装置を利用することにより、これらの疾患の原因となるタンパク質の凝集のメカニズムを解明し、その制御の可能性について成果を得た。

【特記すべき成果の詳細】

920MHz NMR計測により、GM1クラスターの親水性/疎水性界面に捕捉されたAβ分子のトポロジーおよび構造変化の過程を決定することに成功し、Aβの線維形成機構を提唱した(図1) [1-5]。また、αシヌクレインオリゴマーのNMR解析を通じて、薬物との相互作用情報を得ることに成功した[6]。

【成果論文】

[1] Kato K, Sasakawa H, Kamiya Y, Utsumi M, Nakano M, Takahashi N & Yamaguchi Y.; *Biochim. Biophys. Acta* **1780**, 619-625 (2008)

[2] Utsumi M, Yamaguchi Y, Sasakawa H, Yamamoto N, Yanagisawa K & Kato K.; *Glycoconjugate J.* **26**, 999-1006 (2009)

[3] Matsuzaki K, Kato K & Yanagisawa K.; *Biochim. Biophys. Acta* **1801**, 868-877 (2010)

[4] Yagi-Utsumi M, Kameda T, Yamaguchi Y & Kato K.; *FEBS Lett.* **584**, 831-836 (2010)

[5] Yagi-Utsumi, M., Matsuo, K., Yanagisawa, K., Gekko, K. & Kato, K.; *Int. J. Alz. Dis.* ID 925073 (2011)

[6] Yamaguchi Y, Masuda M, Sasakawa H, Nonaka T, Hanashima S, Hisanaga S, Kato K. & Hasegawa M.; *J. Mol. Biol.* **395**, 445-456 (2010)

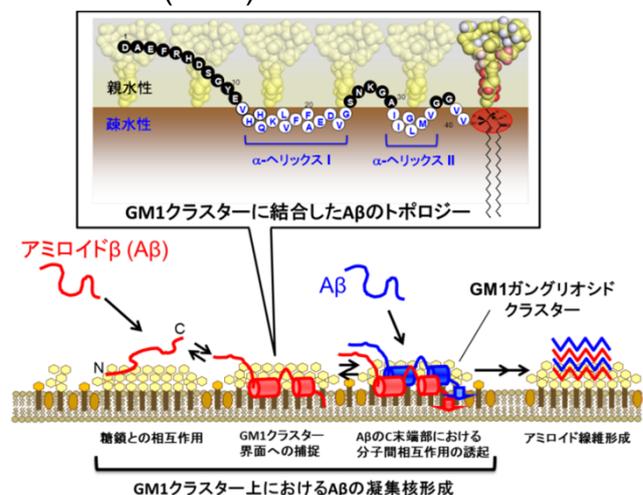


図1：GM1クラスターを舞台とするAβのアミロイド線維形成機構。

マイクロ流体デバイスによる遺伝子デリバリーナノシステム構築

^a北海道大学, ^b京都薬科大学, ^c名古屋大学
原島秀吉^a, 小暮健太郎^b, 馬場嘉信^c

ナノネット事業で初めて可能になった成果

1. 遺伝子治療用のナノ材料合成の研究者では開発できない、微細加工技術によるマイクロ流体デバイス開発支援とマイクロ流体デバイス中でのナノ材料合成支援という複数支援の融合により初めて達成できる支援を実施した。
2. ナノネット事業の支援技術と蓄積したノウハウにより、Native状態と同様のリン脂質二重膜をマイクロチャネル表面に形成することに成功し、世界で初めて、遺伝子を有するエンベロープ型ナノデバイス構造の迅速構築に成功した。
3. 支援成果として、海外特許1件、国内特許1件、国際学術誌論文9件が得られ、遺伝子デリバリーナノシステム合成用マイクロデバイスの研究分野を開拓するとともに、ナノネット5大成果に選ばれた。

【研究概要】

多機能性エンベロープ型ナノデバイス (MEND: Multifunctional Envelope-type Nanodevice)は次世代遺伝子デリバリーナノシステムとして注目を集めている。しかし、MENDは高次な構造を有し、構築に煩雑な操作と時間(数時間~2日)を要するために実用化が困難であった。そこで、マイクロ流体デバイスを開発し、わずか5分で精密にナノ構造を制御したMEND構築に成功した。

【特記すべき成果の詳細】

マイクロチャネルを形成したポリジメチルシロキサン (PDMS)とガラス基板を接合することによりマイクロ流体デバイスを開発した。チャネル表面をリン脂質でナノコーティングした後、正に帯電したDNA/ポリカチオンナノ粒子懸濁液を導入することで、簡便・迅速に直径100-200 nmの範囲でサイズ制御されたMEND(図1)を構築することに成功した(図2)。さらに、MEND構築の高スループット化を達成しながら、必要なDNA量や試薬量を最小化するマイクロチャネルアレイを開発し(図3)、MEND構築の超高効率化を達成するとともに、数時間かかっていた作成時間を5分以内に短縮することに成功した。

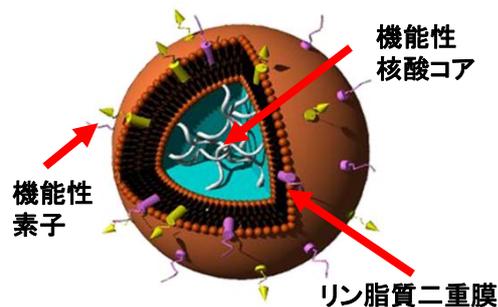


図1. MENDの構造の模式図。

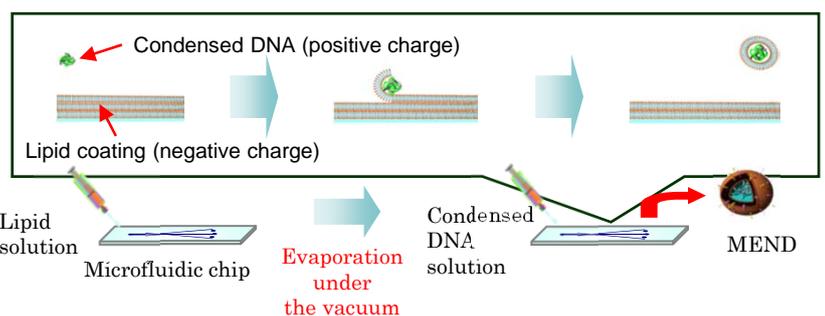


図2. 表面ナノコーティングによるMENDの作製方法の概略図。

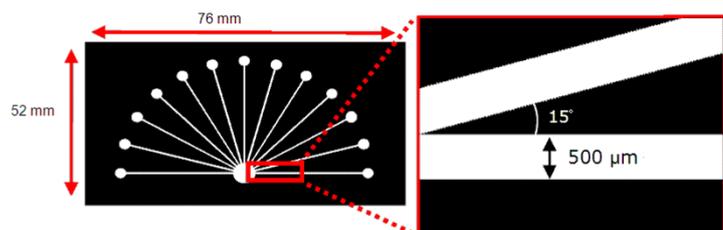


図3. 本法で用いたマイクロ流体デバイスのチャネルデザイン。マイクロチャネルをアレイ化することにより、より効率的なMENDの作製が可能となった。

カーボンナノファイバー探針の機械特性評価

^aオリンパス株式会社, ^b名古屋工業大学
北澤正志^a, 種村眞幸^b

ナノネット事業で初めて可能になった成果

1. 一般的な汎用装置というよりは、むしろ、一工夫加えた特徴的な装置を開発し、ナノネットに供することで、他で実現できない研究を行った。
2. カーボンナノファイバー(CNF)をはじめとするナノカーボンの合成には、従来は500°C以上の高温を必要とするが、イオンビーム手法を用いることで、無触媒で室温でも成長する。材料メーカーにも革新的な貢献ができることを初めて示した事例である。また、CNF探針では、探針作製時に金属を同時供給することで、金属含有CNF探針の作製も可能であることを世界で初めて示した。
3. 支援装置を用いて、CNF探針の機械特性評価を初めて行うことができた。

【研究概要】

イオン誘起CNF探針は、優れた描画特性を有する実用的な走査プローブ顕微鏡探針として期待される。本研究では、中部地区ナノテク総合支援装置「特型走査電子顕微鏡装置(SEM)」を用い、 piezo 微動駆動によりCNF探針を対向ナノプローブに徐々に押しつけながら、その変形の様子をリアルタイムでSEM観察することにより、CNF探針の機械的特性評価を行った。

【特記すべき成果の詳細】

図1にCNF探針と対向ナノプローブの低倍率の全景SEM像を示す。CNF探針を徐々に対向ナノプローブに近づけ(粗調整), CNF探針と対向ナノプローブが接触する直前の距離に近づいたところから、高倍率のSEM観察を行う。

図2にCNF探針の押し込みに伴うCNFの変形の様子(SEM像)を示す。CNF探針は、直径約70 nm,長さ約500 nmである(図2(a))。CNF探針の押し込みに伴い、CNF探針が変形していることが分かる(図2(b))。探針を対向ナノプローブから離すと、CNF探針は初期状態の形態にもどることも観察された。これらの観察から、CNF探針は弾力のある機械的特性であることが明らかになった。また、本支援装置を用いたCNF探針の座屈荷重測定から、ヤング率の実測も可能であった。

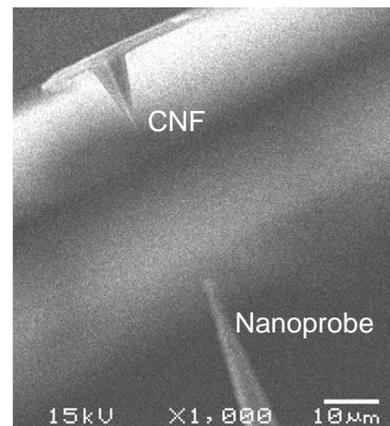


図1 : Low-magnification SEM of CNF sample and nanoprobe assembly.

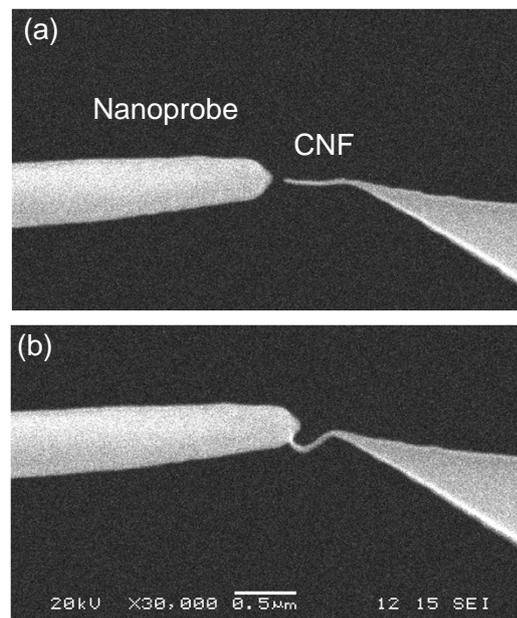


図2 : in situ. SEM images of the CNF sample and the nanoprobe (a) before and (b) during their hard-contact examination.

単一分子検出マイクロ流路チップの開発

^A株式会社ESPINEX, ^B豊田工業大学

中野圭洋^A, 亀岡遵^A, 安池雅之^A, 梶原建^B

ナノネット事業で初めて可能になった成果

ナノネット5大成果に選出

1. マイクロ流路チップの開発には、微細加工装置の利用が必須となる。特に中小企業では高価な装置類を用意することは難しい。蓄積のあるシリコンプロセスを基盤に、ニーズに適合した支援体制を構築することにより、開発が可能になった。
2. 近年、マイクロTASと呼ばれる生化学分析用のデバイスの研究が盛んに行われており、試料の送液や検体の検出などに微小な流路系を加工したマイクロ流路チップが主に用いられている。極微細な加工が要求されるマイクロ流路チップの製造には、フォトリソグラフィーやエッチングなどに従来シリコンプロセスとは異なる超微細加工技術の向上が不可欠であり、(株)ESPINEXは、流路の微細化や多段形状、基板の貼り合せ技術の向上を実現した。

【研究概要】

ナノバイオテクノロジーという新たな学問領域の知見や技術は医療・環境分野等への適用が期待され、市場ニーズが急速に高まっている。新規生命現象の解明につながる画期的な発明として、マイクロ流路チップを用いた癌のメカニズムの解明や、効果的な抗癌剤の創薬、あるいは抗がん剤のレジスタンスのメカニズムの解明などへの応用が期待されている。使用されるシステムでは最小流路幅数 μm 以下の高精度な流路形状が要求され、原理上、背景蛍光の少ない石英ガラスを用いる必要があるため、半導体産業で用いられる単結晶シリコンより、加工精度、微細化、貼り合せ技術、および製造コストといった技術面での課題が多い。また製作されたマイクロ流路チップは、米国のMDアンダーソン癌センター及びテキサスA&M大学との共同研究に使用されており、さらなる品質向上が期待されている。

【特筆すべき成果の詳細】

図1に示すように、試料中の量子ドットで修飾したタンパク質をマイクロ流路の検出部に導入し、検出部を通過したタンパク質からの蛍光を検出する。検出部図2は極めて微細に加工されており、励起光の照射部も小さくすることで、単一分子レベルの検出が可能となった。また、波長毎に複数のアバランシェフォトダイオードを光学系に組み込むことで複数のタンパク質の相互作用も定量的に解析が可能となった。これにより新薬の開発や新治療法の確立への可能性が広がった(特許4件取得済み)。

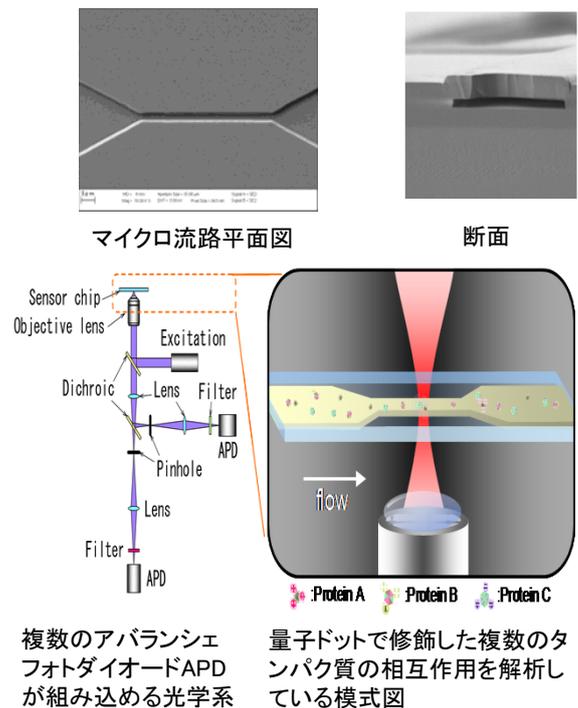


図1. 単一分子検出用のマイクロ流路と光学系

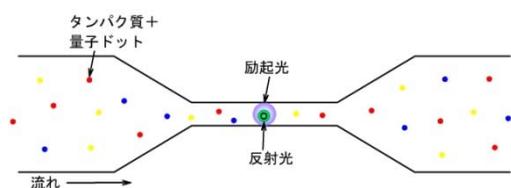


図2. マイクロ流路中心部と励起光の照射部