

氏名	マルセル マノ Marsel Mano
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	富理工博甲第63号
学位授与年月日	平成25年9月27日
専攻名	数理・ヒューマンシステム科学専攻
学位授与の要件	富山大学学位規則第3条第3項該当
学位論文題目	A Novel Adaptive Method for Robotic Wheelchair Navigation Using Brain Signals (脳信号によるロボット車椅子の適応型ナビゲーションシ ステムの研究)
論文審査委員	
(主査)	チャピ ゲンツイ 小川 晃一 坂上 岩太 田島 正登 川原 茂敬

## 【学位論文内容の要旨】

A brain machine interface (BMI) is a direct communication pathway between the brain and an external device (i.e. robot). The BMI ability to directly communicate with machines and bypass the peripheral nerves and muscles, is often used at assisting or repairing human sensorimotor functions in severely disable or locked-in syndrome affected humans. BMI coupling with assistive technology is seen as a promising approach to restore mobility in disable people. A very important rehabilitation technology application is the BMI based navigation of robotic wheelchairs. The aim of this application is to restore some mobility independence to paralyzed patients.

Navigating a robotic wheelchair by using only brain signals is a very challenging task. Since only brain signals and no other means can be used to control the wheelchair, the safety requirements are higher than standard wheelchairs. Proximity sensing data is usually used to detect objects and avoid collisions to improve wheelchair navigation safety.

BMI is a low-bit communication channel. This means, the subject has to perform a high amount of mental tasks for a relatively long period of time, even for simple navigation scenarios. This makes the navigation task very tiring and abnormally slow. Shared control between subject's mental intentions and intelligent robots is usually proposed as a solution to improve navigation. Shared control generally improves the navigation experience but also restricts the subject's control over the robot. Also prior environment training and/or goal location information are required to assist navigation.

In this thesis, we present a novel adaptive method that improves the navigation of a robotic wheelchair based on a brain machine interface control. We employ a synchronous brain machine interface to retrieve mental intentions from the subject at specific points in time. Furthermore, we have developed two modules to assist the robotic wheelchair navigation. The first module is capable of navigating the wheelchair autonomously following assistive information (tactile paving for visually impaired people) on the floor captured by a camera in real time. The second module uses a laser range finding sensor to detect and avoid objects in the navigation path. The adaptive platform integrates the brain machine interface output, the robot sensing and the navigation modules in order to provide the subject with context based navigation choices through audio and visual queries.

Based on environment conditions the subject can choose to navigate the robot turn-by-turn or give high-level control commands, and allow the robot to navigate autonomously following the assistive information. The subject is able to accept or reject assistance adaptively by using only brain signals.

Experimental results show that the adaptive method significantly improves the navigation performance. By using its modules adaptively, the robotic wheelchair is able to navigate on a better trajectory, avoid potential collisions and reduce the navigation time. The number of mental tasks required is reduced significantly when the assistive information is used. As a consequence of a reduced mental workload the subject is more relaxed and is able to perform better mental tasks, which lead to a higher BMI accuracy during adaptive navigation.

## 【論文審査の結果の要旨】

有機薄膜トランジスタ(OTFTs)は、低コスト、軽量、そしてフレキシブル基板上への作製と大面積化可能な性質から興味を持たれている。高性能トップコンタクトのOTFTを実現するには、デバイス性能全体を左右する界面の影響を理解することが大切である。OTFTでは、主に二つの重要な界面が有る。第1は、ゲート絶縁膜/半導体界面で、これによりチャネルを形成する。第2は有機半導体/金属界面で、これによりキャリアが注入される。

第1に、有機半導体/金属界面について議論した。有機/金属界面はデバイス性能を最も制限し、電界効果移動度も低減される。初期の報告では、金属電極とペンタセンの相互拡散が、OTFTのバリアハイトとコンタクト抵抗を増加させ、界面でのホール注入を減少させることが示された。ソース/ドレイン(S/D)電極と有機半導体の間のコンタクトが、キャリア注入層として遷移金属酸化物を挿入することで低減されることが示された。遷移金属酸化物である $\text{MoO}_3$ 、 $\text{WO}_3$ 、 $\text{V}_2\text{O}_5$  や他の酸化物である $\text{GeO}$ や、 $\text{TiO}_2$ 等の良好な電気的特性で仕事関数が制御され、その結果として電荷注入特性が改善される。それゆえ、有機/電極界面を改良することで、S/D電極が直接ペンタセン層に接触しなくなり、コンタクト抵抗、バリアハイト、そしてデバイス性能を向上させる拡散や他の化学的反応を防ぐことが可能となる。

第2に、トップコンタクトのペンタセンOTFTを用い、薄い(5 nm)の $\text{MoO}_3$ 、 $\text{GeO}$ 、 $\text{WO}_3$ 、そして $\text{TiO}_2$ 界面層をAuとペンタセン間に挿入した際の電荷注入特性の改善と電界移動度の評価を行った。Auのみの電極を持つペンタセンOTFTと比較して、二層構造電極を持つデバイスの性能は大きく改善された。界面層挿入後の電界効果移動度、しきい電圧、オンオフ比の全てのデバイス性能は高く改善され、5nmの $\text{GeO}$ を用いることで最高移動度  $0.96 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、しきい電圧-4 V、

そして最高のオンオフ比 $5.2 \times 10^4$  が達成された。また、全てのデバイスの $I_D$ - $V_D$ 特性の温度依存性測定で、強い温度依存性が確認された。

第3に、全てのデバイスの $I_D$ - $V_D$ 特性の温度依存性より示唆されるショットキー放出機構によるフィッティングを行った。 $\ln(I)$ と $V^{1/2}$ 特性で、電圧0Vへの外挿のプロットから、零Vでの電流 $I_0$ が決まる。この $I_0$ を用い、 $\ln I_0/T^2$  対  $1/T$  特性の関係をプロットし傾きを得る。二層構造の $\text{MoO}_3/\text{Au}$ で0.03 eV、 $\text{WO}_3/\text{Au}$ で0.05 eV、 $\text{TiO}_2/\text{Au}$ で0.04 eVであるのに対し、そしてAu電極のみではバリアハイトが0.12 eVであった。最も低いバリアハイトとして、二層電極 $\text{GeO}/\text{Au}$ で0.01 eVを得た。以上のように、Auとペンタセン層間に薄い酸化物層を挿入することで、バリアハイトが劇的に減少出来た。

同様に、ペンタセンの表面モフォロジーから、実効ラフネスは金属酸化物層の挿入により減少した。二層電極を持つOTFTの性能改善の主要因は、バリアハイトの減少と、活性層の表面ラフネスの減少によるものと説明された。それ故、薄い酸化物層とAuの二層構造を組合せは、OTFT特性の改善に有効な方法であり、これにより商業的応用の観点からデバイスを望ましく作製出来ると言える。

最後に、ペンタセンとS/D電極間に薄い $\text{MoO}_3$ ドーパのペンタセン層を持つペンタセンOTFTでのキャリア注入特性の改善について報告した。薄い $\text{MoO}_3$ ドーパのペンタセン薄層の挿入により、ドレイン電流、電界効果移動度、そしてしきい電圧を含むデバイス特性が改善された。Au/ペンタセン界面でのバリアハイトは、 $\text{MoO}_3$ ドーパのペンタセン挿入により、0.12eVから0.05eVへ低減された。

結論として、金属酸化物/電極の二層構造電極のコンタクトのOTFT応用について研究した。 $\text{GeO}/\text{Au}$ 構造で得られたバリアハイトは0.01 eVと小さく、これは通常用いられている $\text{MoO}_3/\text{Au}$ 電極の0.03 eVと比較して低かった。それ故、 $\text{GeO}/\text{Au}$ 二層構造は他の電極構造と比較して有望である。加えて、ペンタセンと

MoO<sub>3</sub>がドーピングされたペンタセンの有効性を示した。これらのデバイス構造は OTFT応用で有望であり、報告されているなかでは最高の性能を示した。それ故、本博士論文は博士号を得るのに相応しいものであると判断された。