

●「安全で快適な生活環境」を支える

機能デバイスの材料と表面制御

ITを支える電子デバイス、エコ、エネルギーをコントロールするためのデバイスは、いずれも界面、表面の制御がキーテクノロジーとなります。当研究室では、ナノ表面を制御した機能デバイス・材料の研究開発を行い、実用デバイスへの橋渡しをしています。特に、「安全で快適な生活環境」の創出に不可欠でかつ社会ニーズの高い主要産業5分野、①ITデバイス、②エネルギーデバイス、③パワーデバイス、④ディスプレイデバイス、⑤エコ・バイオデバイスを設定し、キーデバイスの材料および界面に関わる研究開発を進めています。

1. はじめに

「安全で快適な生活環境」を支える機能デバイスを実用的なものにするためには、固体(半導体、金属、絶縁体)の互いの界面、または固体(電極)と液体(溶液、燃料液)の界面の制御が重要になります。今回、社会ニーズの高い主要産業5分野(図1)に分けてそれぞれ、研究内容を紹介します。

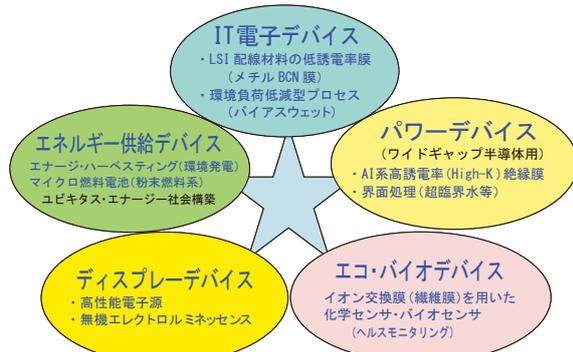


図1「安全で快適な生活環境」の創出に不可欠でかつ社会ニーズの高い主要産業5分野

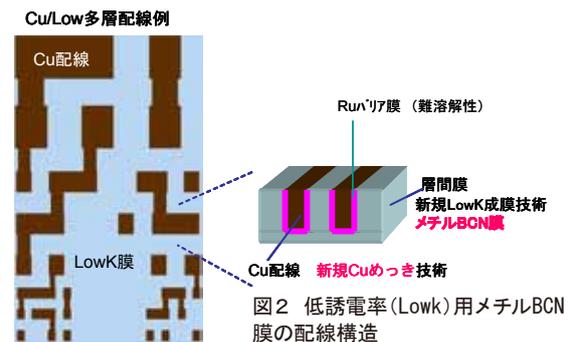
2. 先端LSI配線用Low-K(低誘電率)絶縁膜と周辺プロセスの研究開発

次世代システムLSIの高速化に向け、多層配線では、SiOC材料をベースとしてポーラス化した低誘電率(Low-K)層間膜の開発が進められています。ポーラス化により誘電率を低減できる反面、機械的強度が低くなる問題があります。これに対して、我々は、TMAB(トリシジメチルアミノボロン)ガスを用いてメチルBCN(ホウ素-炭素-窒素)膜を成膜することに成功し、機械的強度が高く、比誘電率もK=1.8を達成しました。(図2)

最近では、実際に配線構造を形成する上で重要な加工プロセスへの取り組みへと研究を進めています。従来のSiOCベース膜に比べて、メチルBCNは、酸素プラズマ処理による膜質の変化がほとんどなく、

安定していること明らかにしてきました。更に、低温ドライエッチング(基板温度:-25°C)技術を用いて、0.2μmの配線幅の構造を形成することに成功し、同時にLow-K膜中へフッ素の拡散も抑制できることを明らかにしました。

また、Cu配線のバリア膜として注目されているRu膜は、王水にも溶解しない難溶解性の材料であり、ウエハ上の余剰Ru膜をエッチング除去することが必要とされています。これに対して、電解エッチングにより、わずか0.1%の塩酸でRu膜を容易にできることを見出し、大幅に環境負荷を低減できます。現在、大手半導体メーカー数社の支援を受けながら、この電解エッチング機構の検討を進めています。



3. エネルギー供給デバイス (エネルギー・ハーベスティング、粉末燃料電池)

エネルギー供給デバイスとして、一つは、エネルギー・ハーベスティングを用いた発電デバイスと構成材料の研究開発、もう一つは、粉末燃料(ギ酸アンモニウム)を用いた燃料電池の研究を進めています。近年、身の回りのエネルギーを収穫して有効活用する環境発電(Energy Harvesting)技術が注目されつつあります。我々は、携帯サイズの発電素子をMEMS技術にて作製するにあたり、圧電方式と電磁誘導方式による発電素子

とその材料の研究を進めています。圧電方式では、環境にやさしい有機材料として圧電有機重合体 P (VDF-TeFE)に着目し、音声周波数にตอบสนองしやすい膜質を研究しています。(図3)

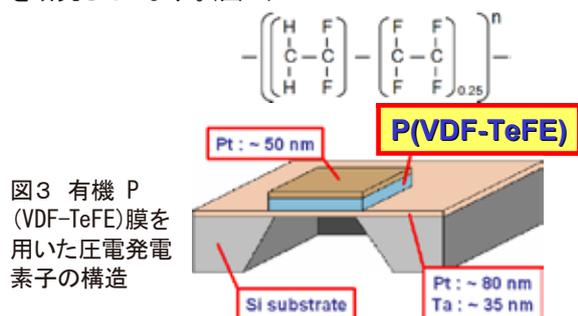


図3 有機 P (VDF-TeFE)膜を用いた圧電発電素子の構造

一方、電磁誘導方式では、スパイラル(渦巻き状)マイクロコイルをフレキシブル基板上に作製し、基本的な発電性能を確認してきました。銅配線や磁性体膜をめっきで形成した後、膜質改善のための高温アニール処理が必要となりますが、フレキシブル基板上では、高温処理が困難です。そこで、電解めっき中に、垂直に磁場を印加する電磁場めっき技術を考案し、アニール処理を施すことなく、銅膜や磁性体(パーマロイ)膜の膜質を高められることを明らかにしました。

携帯用燃料電池として、我々は、引火性がない粉末のギ酸アンモニウム燃料を提案し検討しています。今回、粉末燃料を寒天に溶解して固化することを考案し、水分と接触させることで、徐々に放出し燃料として供給することに成功しました。

4. パワーデバイス用SiC半導体のHigh-K絶縁膜および界面処理の研究開発

ワイドバンドギャップ半導体(SiC)のゲート絶縁膜として、高温動作時にリークを抑制できるAl系酸化膜の高誘電率(High-K)を検討しています。特にSiCの場合、絶縁膜との界面が重要となるため、AlN層をバッファ層として挿入した、AlSiON/AlN/n-SiC(4H)構造について検討し、従来よりも良好な界面を形成できることを明らかにしました。また、誘電率が高いが耐水性が低いLaAlO膜について、我々は、非水系のウエットプロセスを提案し、膜質の電気的特性が劣化しないことを明らかにしました。

更に、低温で効果的な酸化方法として、非常に酸化力が高い超臨界水(~400°C, 22MPa)を用いた、SiCの酸化を検討し、この低温酸化により界面のラフネスは大きく改善できることを明らかにしました。

5. ディスプレー用の高性能電子源および無機エレクトロルミネッセンス(EL)の研究開発

高性能なフィールドエミッションディスプレイに向け、窒化ホウ素炭素(BCN)の冷陰極への応用を検

討しています。今回、ドット配列を施しBCN薄膜コーティングしたSiエミッタは、しきい値電界が改善できることを明らかにした。

無機エレクトロルミネッセンス(EL)デバイスに用いられる希土類の発光は、容易に大面積化できる安価な面光源として魅力的です。TbドーパAIBNO薄膜を検討し、アニール処理により発光強度が増加することを明らかにしました。

6. イオン交換膜による環境センサの研究開発

健康管理や環境管理において、飲料水や環境汚染の検査を微量で高感度にセンシングできることが益々重要になってきています。我々はこれまで、多孔質イオン交換膜を用いて、高感度で容易に無機イオンやアミノ酸が検知できることを報告してきました。この交換膜は、各種イオン吸着により膜の伝導性が変化する様子を膜のインピーダンス変化として捕らえることが出来ます。

最近では、小型デバイス化を想定し、乾燥に強く、膜の安定性にも優れる材料として、繊維状イオン交換膜の検討も進めています。陽イオンと陰イオン薄膜を積層できる上、DC印加も構造上容易となるため、更に高感度化できることを見出しています。

一方、吸着したイオンを脱離し、再生される技術にも取り組み、DCの逆バイアスや遠心操作によってイオンが脱離することを見出しました。このような再生化技術により、材料のリサイクルが可能となり、低コスト化が図れます。

主な関連論文リスト

- [1]H.Aoki, T.Masuzumi, M.Hara, D.Watanabe, C.Kimura and T.Sugino, Thin Solid Films, Vol.518, (2010)2102.
- [2]H.Aoki, D.Watanabe, N.Ooi, J.H.Jeong, C.Kimura and T.Sugino, Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 04C019.
- [3]J.H.Jeong, C.Kimura, H.Aoki and T.Sugino, Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 04DK23.
- [4]E.Kubo, N.Ooi, H.Aoki, D.Watanabe, J.H.Jeong, C.Kimura and T.Sugino, Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 04DB17.
- [5]M.Honjo, N.Komatsu, T.Masuzumi, H.Aoki, D.Watanabe, C.Kimura and T.Sugino, Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 04DA13.
- [6]T.Futatsuki, T.Oe, H.Aoki, N.Komatsu, C.Kimura and T.Sugino, Jpn. J. Appl. Phys.49 (2010) 04DF18.
- [7]N.Komatsu, K.Masumoto, H.Aoki, C.Kimura and T.Sugino, Appl. Surf. Sci.256 (2010)1803.
- [8]T.Sugino, J.Kikuchi, S.Kawai, C.Kimura, H.Aoki, Diamond and Related Materials, 19 (2010) 545-547.
- [9]C.Kimura, S.Kawai, K.Takizawa, Y.Horikawa, H.Aoki and T.Sugino, J. Vac. Sci. Tech. B,Vol.27, No.2(2009) 744.
- [10]S.Hotta, H.Aoki, K.Kumeta, Y.Hata, C.Kimura and T.Sugino, Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 04C183.