

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2009

課題番号：18063016

研究課題名（和文） ナノスケールデバイスにおける界面物性揺らぎと雑音

研究課題名（英文） Fluctuation in Interface Properties and Noise in Nano-scaled Devices

研究代表者

土屋 敏章 (TSUCHIYA TOSHIAKI)

島根大学・総合理工学部・教授

研究者番号：20304248

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：マイクロ・ナノデバイス，半導体超微細化，電子デバイス・機器，揺らぎ，

MOS，界面準位，雑音

1. 研究計画の概要

ポストスケーリングテクノロジーによる次世代 Si 系デバイスの高性能化には新材料と新構造の導入が必須であり，デバイス内部には Si とそれ以外の材料との異種接合が多用されることになる．さらに，デバイスサイズはナノスケール化されるため，伝導キャリアに対するこれら種々の界面の影響が揺らぎを含めて極めて重要となり，デバイス高集積化・高性能化の限界要因になる可能性がある．

本研究では，評価技術開発を含めたナノスケール界面物性の評価，界面準位の数とエネルギー準位の揺らぎ評価，これら揺らぎによるデバイスの雑音への影響などを実験的に解明し，界面物性揺らぎと雑音に関する学術的寄与と共に，次世代高性能 Si 系デバイス開発に資する．

2. 研究の進捗状況

(1) 界面物性揺らぎの評価技術の検討

SiGe/Si ヘテロ構造 MOSFET を用いて，室温チャージポンピング (CP) 特性の立ち上り部において，ゲートパルスのオン時間に依存した過渡現象を見出した．この部分の CP 電流は SiGe/Si ヘテロ界面準位の寄与が含まれていることはこれまでの検討からわかっており，低温 CP 法を適用した結果，SiGe/Si ヘテロ界面準位に対しても同様の過渡特性を示すことがわかった．この過渡現象はある時定数を有しており，考察の結果，この時定数が界面準位のエネルギーギャップ中にお

けるエネルギー準位に依存すると考えられることがわかった．したがって，数個の界面準位しか含まないナノスケールデバイスについて，この手法を用いることによって界面準位の離散的エネルギー準位揺らぎを評価できるものと考えた．

そこで，ナノスケール極微小ゲート MOS デバイスを産業界との連携で試作し，上記の検討結果を基にして，この試作デバイスを用いた界面準位の数とエネルギー準位の揺らぎの評価解析を行った．その結果，界面準位の数の揺らぎは CP 電流値から比較的容易に求められることを確認した．界面準位 1 個当たり数十 fA と微小な CP 電流となるが，ゲート寸法のばらつきが小さいにも拘らず，MOSFET に含まれる界面準位数が 0 個から十数個とかなり大きな揺らぎを有していることがわかった．また，界面準位のエネルギー準位の揺らぎについては，数個の界面準位を有する MOSFET を用いた CP 特性のゲートパルス・オン時間依存性を検討し，界面準位のエネルギー準位に依存した電子の捕獲断面積揺らぎを反映して，CP 電流最大値までもが変化する過渡 CP 特性を示すことがわかった．また，この過渡 CP 特性は，個々の界面準位による CP 電流が界面準位の電子捕獲率揺らぎなどに依存するため，個々の MOSFET 固有の特性 (fingerprint) を示すこともわかった．したがって，この過渡 CP 測定によって，界面準位の数とエネルギー準位の両者の揺らぎを評価できることがわかり，界面準位揺らぎ評価法をほぼ確立できたといえる．

なお、界面の安定性および安定性揺らぎを調べるため、SiGe/Si ヘテロチャネル MOSFET のセルフヒーティング効果によるヘテロ界面への影響についても検討した。その結果、セルフヒーティング効果によってチャージポンピング特性やドレイン電流の低周波雑音特性に突然急激な変化が現れることがわかった。この結果は、ヘテロ界面の安定性・信頼性についての課題を示していると共に、ヘテロ界面状態の揺らぎの存在を示唆する現象と考えられる。

(2) 界面物性揺らぎの雑音への影響とデバイス高集積化・高性能化へのインパクト

また、数個以下の界面準位を有する極微小ゲート面積の Si MOSFET におけるゲート酸化膜界面準位揺らぎとドレイン電流雑音特性の関係について検討を開始した。CP 特性によって、個々の MOSFET に含まれる界面準位の数を明確にした上で（界面準位を 1 個も含まないと考えられるものも含めて）低周波雑音特性の評価を行った。その結果、ローレンツ型特性、 $1/f$ 特性に近いもの、あるいは、周波数依存性がかなり小さい特性など様々な特性が得られた。このことは、雑音特性が界面準位の数のみでは決まっていないことを示しているものと考えられる。

3. 現在までの達成度

達成度：②おおむね順調に進展している。

理由：当初の研究計画調書において、本研究の研究目標として以下の 3 つを設定した。(1)局所界面準位の評価と雑音特性への影響、(2)界面準位の数とエネルギー準位の揺らぎ評価、(3)界面物性揺らぎによる雑音への影響とデバイス高集積化・高性能化へのインパクト。この内、現時点で、(1)と(2)についてはほぼ目標を達成している。特に、(2)の界面準位のエネルギー準位揺らぎについては、当初、如何に検出評価するか確たる案の無いところからのスタートであったため苦心したが、幸運にも上述のような過渡現象を見出し、その解明から揺らぎ評価法を確立することができた。この成果は特筆できる。(3)の目標は、当初の予定通り平成 21 年度の研究計画である。従って、全体としてはおおむね順調に進展していると判断できる。

4. 今後の研究の推進方策

本研究はほぼ順調に進展させることができたため、今後の研究もほぼ当初の計画どおりに実施する。つまり、上記の過渡 CP 測定から、個々の MOSFET に含まれる界面準位の数とエネルギー準位の揺らぎを同定した

上で、その MOSFET の RTS (Random Telegraph Signals) およびドレイン電流雑音を評価して、それらの相関関係を見出し、雑音の起源について検討する。また、フローティングゲートメモリにおいて、RTS 起因の大きな閾値電圧揺らぎが生じるとの指摘もあり、これらの検討から、界面物性揺らぎのデバイス特性へのインパクトを明らかにする。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 5 件)

① T. Tsuchiya, S. Mishima, M. Sakuraba, and J. Murota, "Hot carrier degradation of a SiGe/Si hetero-interface and experimental estimation of the density of locally-generated hetero-interface traps," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 46, no. 8A, pp. 5015-5020, 2007, 査読有。

② T. Tsuchiya, M. Sakuraba, and J. Murota, "Characterization of Hot-Carrier Degraded SiGe/Si-Hetero-PMOSFETs," Thin Solid Films, Vol. 508, Issues 1-2, pp. 326-328, 2006, 査読有。

[学会発表] (計 17 件)

① T. Tsuchiya, K. Yoshida, M. Sakuraba, and J. Murota, "Capture/Emission Process of Carriers in Interface Traps Observed in the Transient Charge-Pumping Characteristics of MOSFETs," 39th IEEE Semiconductor Interface Specialist Conference (IEEE SISC), Dec. 11-13, 2008, San Diego, USA,

② T. Tsuchiya, K. Yoshida, M. Sakuraba, and J. Murota, "Transient Charge-Pumping Characteristics Related to Heterointerface Traps in SiGe/Si-Hetero-Channel pMOSFETs," 4th International SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM), May. 11-14, 2008, Hsinchu, Taiwan.

③ T. Tsuchiya, S. Mishima, M. Sakuraba, and J. Murota, "The Instability of the SiGe/Si-Hetero-Interface in Hetero-MOSFETs due to Bias Stress," 37th IEEE Semiconductor Interface Specialist Conference (IEEE SISC), Dec. 7-9, 2006, San Diego, USA.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

<http://www.ecs.shimane-u.ac.jp/~tsuchiya/>