

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月23日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760052

研究課題名（和文） 電界効果トランジスタ型水素ガスセンサの高性能化・高機能化

研究課題名（英文） Study on advanced hydrogen sensors based on field effect transistor structure

研究代表者

中村 成志（NAKAMURA SEIJI）

首都大学東京・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：70336519

研究成果の概要（和文）：耐環境性に優れた高性能・高機能な水素ガスセンサの開発を目指し研究を行った。ケルビン法により電界効果トランジスタ型水素ガスセンサの検知メカニズムについて調査した結果、水素吸蔵によるパラジウム電極自体の仕事関数変化であることが分かった。空気中での水素検知範囲はサブ ppm から 10%であった。ガス選択性を付与する方法として温度掃引型動作を導入することにより、水素、メタン、プロパンを区別して検知できることを示した。

研究成果の概要（英文）：In this study, the hydrogen sensing properties of AlGaIn/GaN high electron mobility transistors with Pd gate electrodes are demonstrated for sub-ppm-order to 10 % detection in air. The Kelvin-probe characterization was also performed in order to clarify the detection mechanism of hydrogen for Pd/III-nitrides structures. We have investigated that the temperature sweep operation of the Pd/AlGaIn/GaN HEMT-based gas sensors is very useful technique for the selective gas detection for hydrogen and hydrocarbons.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎，応用物理学一般

キーワード：センサー

1. 研究開始当初の背景

水素は、燃焼に伴い二酸化炭素を排出しないため、次世代のクリーンエネルギー源として期待されているが、空気中で非常に燃えやすく、爆発組成範囲が広い危険な気体である。高温・多湿など様々な環境下での水素利用が想定されているため、使用する際の安全性確保には、高感度かつ高選択性を有する耐環境

型水素ガスセンサが必要とされている。

2. 研究の目的

申請者がこれまでに研究してきたⅢ族窒化物半導体を用いた電界効果トランジスタ(FET)型水素ガスセンサをベースとして、以下に示す性能を有するセンサの開発を目的とした。

- (1) 検知濃度範囲が広い (ppb~10%)
- (2) 高温動作可能 (400°C程度)
- (3) 高選択性およびマルチガスセンサ化

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、具体的には以下の方法により検討した。

(1) 検知濃度範囲を拡大するためには、FET型水素ガスセンサの水素検知メカニズムの理解が不可欠であるが十分に解明されていない。そこで、ケルビン法による触媒金属自体の仕事関数変化、触媒金属電極と半導体および酸化膜界面の効果を検証した。また、高濃度検知を実現するために、パラジウムの水素吸蔵による膨張の利用を提案し、パラジウムと半導体界面の歪みを解析した。

(2) 提案デバイスの温度特性を評価し、各種ガス雰囲気での動作を検証した。また、高温動作を実現するための薄膜ヒーターの作製・評価を行った。

(3) 一般的に、触媒金属を利用した水素センサでは、水素を含むガス(炭化水素や水など)にも応答してしまう。本研究では、触媒金属によるガスの分解温度がガスの種類に依存することに着目した。センサ温度を掃引した得られるセンサ感度信号-温度データからガス種を判別可能かどうか検証した。

4. 研究成果

図1に示す高電子移動度トランジスタ(HEMT)型のセンサを作製し、特性評価を行った。本デバイスでは、ソースドレイン間の電流変化を観測することでガスの検知が分かる。図2に、大気中においてppmオーダーの低濃度水素ガスを検知した結果を示す。1ppmの水素ガスを精度良く検知できており、大気中での水素検知限界である500ppbの濃度の水素検知が可能であることが分かった。この検知メカニズムについて、パラジウム、白金とシリコンとのショットキーバリアダイオードおよび金属-酸化物-半導体ダイオードを作製し評価した。その結果、触媒金属の仕事関数変化が原因であることを明らかにした。

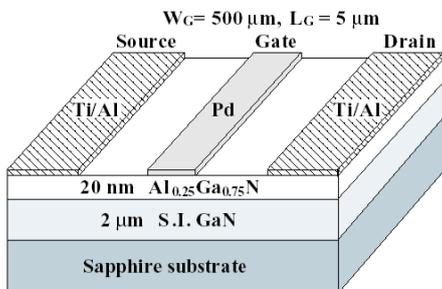


図1 Pd/AlGaN/GaN HEMT 構造ガスセンサ

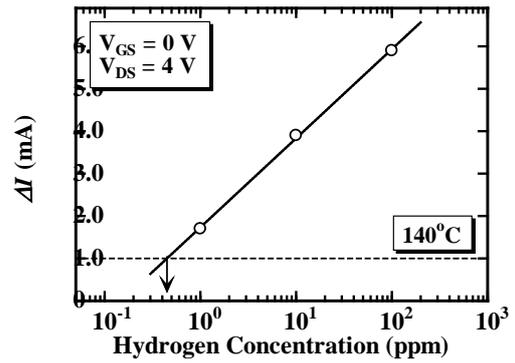


図2 提案センサにおけるガス検知電流の水素濃度依存性

図3に、検知特性のセンサ雰囲気依存性を示す。図の縦軸はパラジウムゲート金属の仕事関数変化量を示している。センサ雰囲気が酸素を含まない窒素の場合、100ppm以下の水素を大きな仕事関数変化として検知できているが、酸素雰囲気ではその変化は小さい。一方、100ppm以上の濃度においては、酸素を含まない窒素雰囲気では検知特性が飽和して濃度の判別ができなくなっている。しかし、酸素雰囲気では、10%の水素濃度まで正確に判別して検出することが可能であることが分かった。この現象は、パラジウム表面上での吸蔵水素と雰囲気中の酸素との反応に起因していることを明らかにした。また、有限要素法により解析した結果、高濃度水素ガス検知にパラジウムの水素吸蔵による歪みを利用するためには、デバイスの基板であるサファイア部分を削り、窒化ガリウム層を100nm程度に極薄化する必要があることが分かった。

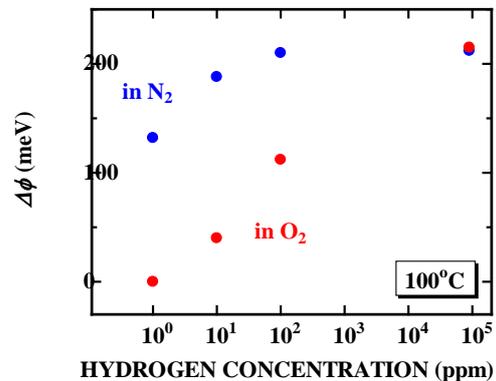


図3 水素ガス検知特性のデバイス雰囲気依存性

次に、ガス選択性の評価を行った。薄膜ヒーターとの一体集積化は研究期間内に実現できなかったが、加熱ステージにより最大400°Cまでデバイス温度を掃引してガス検知特性を評価した。評価ガスとしては水素の他に、一般的な環境でも存在し得るメタンおよびプロパンを用いた。結果を図4に示す。水素ガスは室温から400°Cまでの範囲で高感度に検知されているが、約230°Cに感度ピークがあることが分かった。プロパンは200°C以上で十分に検知されはじめ、約300°Cに感度ピークが見られた。一方、メタンは300°C程度までほとんど検知されず、350°Cで明確に検知されはじめた。この結果より、温度掃引測定により得られた感度-温度特性スペクトルを分析することで、検知したガスの判別および濃度決定が可能であることを明らかにできた。

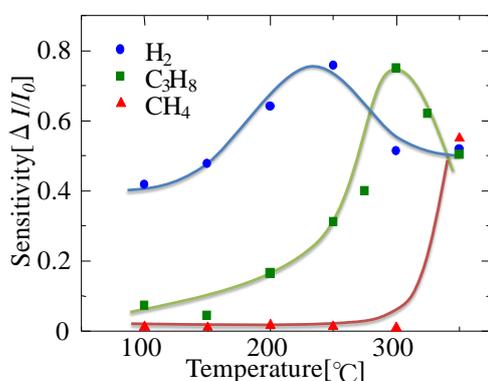


図4 水素、メタン、プロパンにおける提案センサの感度-温度特性

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① S. Nakamura, N. Takahashi and T. Okumura, "Detection of ppm-order hydrogen gas by Pd/AlGaIn/GaN high electron mobility transistor-based sensors", *Physica status solidi (c)*, 査読有り, Vol. 6, 2009, S1053-S1055

[学会発表] (計8件)

① 吉田朗子, 中村成志, 奥村次徳, "光容量分光法によるn型GaIn中の極深準位評価", 第59回応用物理学会関係連合講演会, 2012年3月18日, 早稲田大学早稲田キャンパス

② 渡辺晶史, 中村成志, 奥村次徳, "Pd/AlGaIn/GaNガスセンサの検知特性の温度依存性", 第59回応用物理学会関係連合講演会, 2012年3月16日, 早稲田大学早稲田キャンパス

演会, 2012年3月16日, 早稲田大学早稲田キャンパス

③ 瀧本拓真, 中村成志, 奥村次徳, "Pd/AlGaIn/GaN高電子移動度トランジスタ型水素ガスセンサの応答メカニズム", 電気学会全国大会, 2011年3月16日, 大阪大学豊中キャンパス

④ 北村翼, 中村成志, 奥村次徳, "Pd/n-GaN接触の電気特性に及ぼす湿度の影響", 電気学会全国大会, 2011年3月16日, 大阪大学豊中キャンパス

⑤ 瀧本拓真, 中村成志, 奥村次徳, "Pd/AlGaIn/GaN高電子移動度トランジスタ構造センサの水素応答メカニズム", 電子情報通信学会電子デバイス研究会, 2010年9月13日, 九州工業大学若松キャンパス

⑥ S. Nakamura, T. Ohsono, N. Takahashi, T. Okumura, "Kelvin-probe characterization of hydrogen-sensitive palladium/nitride semiconductors contacts", 8th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-8), 2009年10月19日, ICC Jeju (Korea)

⑦ 中村成志, 大園智章, 高橋紀行, 奥村次徳, "高温動作Pd/AlGaIn/GaN構造水素ガスセンサの検知特性評価", 電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会, 2009年7月24日, 東京工科大学八王子キャンパス

⑧ 大園智章, 中村成志, 高橋紀行, 奥村次徳, "Pd-窒化物半導体接触を利用した水素ガスセンサの検知メカニズムの検討", 電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会, 2009年7月24日, 東京工科大学八王子キャンパス

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 成志 (NAKAMURA SEIJI)

首都大学東京・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号： 70336519

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし