

令和 4 年 9 月 5 日現在

機関番号：11301
研究種目：若手研究
研究期間：2020～2021
課題番号：20K15157
研究課題名（和文）有機-無機ハイブリット型電界効果トランジスタにおけるキャリア輸送機構の研究

研究課題名（英文）A study of carrier transport mechanism in organic-inorganic hybrid field effect transistor

研究代表者
鈴木 和也（Suzuki, Kazuya）
東北大学・材料科学高等研究所・助教

研究者番号：20734297
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、強磁性金属から有機分子へスピン注入する過程において重要な役割を果たす、強磁性金属に吸着した有機分子のキャリア輸送機構の研究が可能な電界効果型トランジスタ構造の検討を行った。適切な強磁性ナノドット構造と有機分子層を組み合わせた有機-無機ハイブリットチャネル層において磁気抵抗効果が生じることが明らかとなり、有機-無機界面のスピン依存キャリア輸送機構を解明する基盤を確立することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、電荷注入機構、スピン注入・検出機構、キャリア輸送特性など多くの物理機構が複雑に織り込まれた従来のスピバルブ型素子では調べることが困難であった強磁性体に吸着した有機分子間のキャリア輸送特性を調べる基盤的な素子が確立された。これにより、有機無機界面の学術的理解が進み、将来的に有機-無機ハイブリット界面を用いた新デバイスの実現に貢献していくと期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, I developed new electric field effect transistor to investigate the spin-dependent carrier transport mechanism of organic molecules adsorbed on ferromagnetic metal, which plays an important role in the spin injection mechanism from ferromagnetic metal into organic molecules. This work clarified that a magnetoresistive effect was appeared in an organic-inorganic hybrid channel layer that combines an appropriate ferromagnetic nano-dots structure and an organic molecular layer. This result indicates that the promising device structure for investigating the spin-dependent carrier transport mechanism in the organic-inorganic interface was established.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：有機無機ハイブリット 電界効果型トランジスタ 磁気抵抗効果

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

有機分子材料と磁性材料が融合した有機スピントロニクス素子は、バンド構造を有する強磁性金属と分子単体で完結した局在的な量子状態を有する有機分子という特徴の違いから新次元の革新的デバイスの創出を予期させる。また、柔らかいという有機材料の特徴を活かした軽量・安価な折り曲げられるフレキシブルデバイスの実現も魅力的な応用である。そのため強磁性体から有機半導体へのスピン注入の研究を代表とした探索的研究が世界的に進められており、強磁性金属/有機分子界面に存在する物理現象の開拓と実用デバイスに向けた特性制御が重要な研究課題となっている。しかし、これまで報告されてきたスピバルブ型素子を用いた研究では、電荷注入機構、スピン注入・検出機構、キャリア輸送特性など多くの物理機構が複雑に織り込まれるため、その中でも重要な強磁性金属電極近傍の有機分子それ自体のキャリア輸送機構を調べることは困難であった。

2. 研究の目的

本研究では、強磁性体に吸着する有機分子間キャリア輸送におけるスピン依存伝導現象を探索するために、強磁性体に吸着した有機分子がチャンネル層として寄与する電界効果型トランジスタ構造を開拓し、磁場依存キャリア輸送特性解明への道筋を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

図1に本研究で作製したボトムゲート型トランジスタ構造を示す。あらかじめ熱酸化膜付シリコン基板上にフォトリソグラフィ法を用いてソース・ドレイン電極となる櫛形 Au 電極構造を形成した素子を作製し、真空蒸着装置を用いてゲート絶縁層となる熱酸化膜上に強磁性ナノドットと有機分子を複合化したチャンネル層とキャップ層を形成した。このとき、強磁性ナノドット材料には Co を用い、チャンネル層材料には金属との界面に高密度の界面準位を形成し、かつ化学安定性に優れた芳香族ポリイミドを用いた。そして、高品質な界面を形成するために真空蒸着重合法を用いて真空中にて有機-無機ハイブリットチャンネル層を作製することにより、雰囲気起因した特性劣化の抑制を試みた。

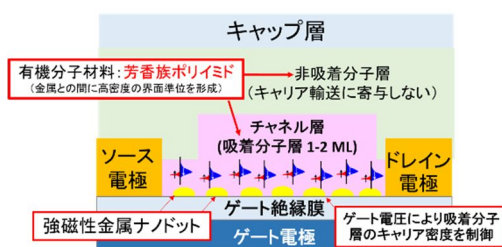


図1 提案したトランジスタ構造。

4. 研究成果

始めにチャンネル層となる芳香族ポリイミド薄膜の合成を実施した。その中で 3,4,9,10-Perylenetetracarboxylic dianhydride (PTCDA) を酸無水物に用いたポリイミド薄膜において、ゲート電圧に依存したソースドレイン電流を観測した。しかし、大気中測定において経時変化が大きく正確なトランジスタ特性の評価が困難であった。その原因として PTCDA をベースとするポリイミド薄膜は結晶性が高く、それに伴い平坦性が悪化し、十分な厚みのキャップ層を設けても均一なキャップ層の形成が困難になり、大気雰囲気による磁性ナノドットの酸化や不純物ガスのチャンネル層への侵入を防ぐことが困難だったためと考えられる。そこで、十分な平坦性を有する PMDA-ODA ポリイミド薄膜を有機-無機ハイブリットチャンネル層として検討した。単体薄膜の電界効果型トランジスタ素子では、ゲート電圧に依存するソース-ドレイン電流は観測されず絶縁体としての振る舞いを示した。一方、強磁性ナノドットをゲート絶縁膜に形成したハイブリット型素子では、計測可能な電流を観測し、室温で 2% 程度の磁気抵抗効果を観測することに成功した。(図2) このとき観測した電流は、電気抵抗値の温度依存性から、ポリイミド分子を介した強磁性ナノドット間でのトンネル伝導に加えポリイミド分子間でのホッピング伝導に起因することが示唆された。トランジスタ特性は、ゲート絶縁膜における絶縁性低下の問題から正確な評価には至っていないものの、提案素子構造により磁気抵抗効果の観測に成功したことから、今後の研究において課題解決を推進することにより強磁性体に吸着した有機

分子のスピン依存キャリア輸送特性の研究が進展すると期待される。

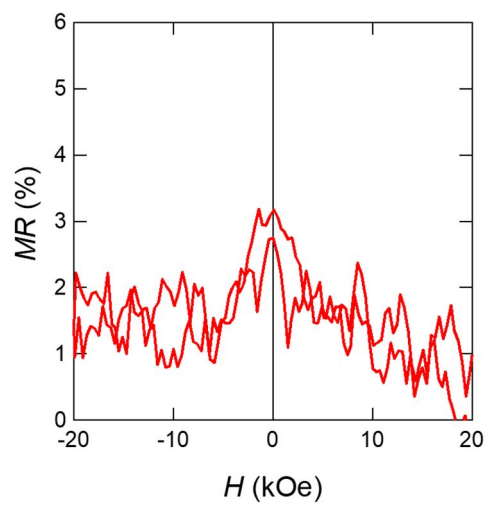


図 2 室温で観測した磁気抵抗効果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| 研究室ホームページ https://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/mizukami_lab/index.html リサーチマップ https://researchmap.jp/ks345 |
|--|

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|