

様 式 F - 7 - 1

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）実施状況報告書（研究実施状況報告書）（平成24年度）

1. 機関番号 

1	4	6	0	3
---	---	---	---	---

 2. 研究機関名 奈良先端科学技術大学院大学

3. 研究種目名 挑戦的萌芽研究 4. 補助事業期間 平成23年度～平成25年度

5. 課題番号 

2	3	6	5	5	1	7	1
---	---	---	---	---	---	---	---

6. 研究課題 理想MIS界面の形成による有機FETの極限性能追求

## 7. 研究代表者

研究者番号	研究代表者名	所属部局名	職名
8 0 3 3 2 5 6 8	ナカムラ マサカズ 中村 雅一	物質創成科学研究科	教授

## 8. 研究分担者

研究者番号	研究分担者名	所属研究機関名・部局名	職名
6 0 6 1 1 5 3 0	マンバラ リョウスケ 松原 亮介	物質創成科学研究科	助教

## 9. 研究実績の概要

本研究では、有機電界効果トランジスタ（OFET）におけるキャリア輸送の極限性能を確認し、その阻害要因を明確にするために、原子スケールで平坦（原子フラット）なゲート絶縁層と有機半導体層の界面（理想MIS界面）を形成することを目指す。そのために、絶縁性層状化合物であるマイカの劈開面などを利用した原子フラットゲート絶縁層/ゲート基板構造を形成する方法を探索する。その上に自由空間で成長させた完全性の高い有機低分子単結晶を付着させる、あるいは、単結晶や多結晶膜を直接エピタキシャル成長させることによって、理想MIS界面を形成させることを目指す。

今年度は、まずマイカ基板の表面洗浄法の有無によって全く異なる分子配向を有する2種のベンタセン多結晶薄膜について、原子間力顕微鏡およびX線回折を用いた結晶構造解析を行った。その結果、分子配向や結晶形態は大きく異なっているものの、いずれの膜もマイカ表面の6回対称な原子列を感じてエピタキシャル成長していることが明らかになった。

これと平行して、マイカを用いて原子フラットなゲート絶縁層/ゲート基板を作製することに成功した。それを用いてベンタセンを活性層とするOFETを作製したところ、移動度の温度依存性が従来のゲート絶縁膜を用いたOFETとは大きく異なることが示された。様々なモデルによる解析を行ったところ、マイカ上にエピタキシャル成長した膜では、隣接する結晶ドメインの向きが比較的揃いやすく、ソース電極からドレイン電極に至る全てのドメイン境界において大きなキャリア輸送障壁が存在しないような電流経路が部分的に生じること、加えて、強い分子/基板間相互作用により格子が歪むことで、ドメイン内に生じるHOMOバンド端プロファイルのゆらぎが大きくなるということを見出した。

## 10. キーワード

(1) 有機半導体	(2) 理想界面	(3) 半導体物性	(4) 有機トランジスタ
(5) 結晶工学	(6)	(7)	(8)

## 11. 現在までの達成度

(区分)(2) おおむね順調に進展している。

(理由)

本研究を遂行するにあたり最も重要な課題は、原子フラットなゲート絶縁層/ゲート基板構造を作製することであった。今年度は、マイカを導電性基板上にあらかじめ接着してから劈開を行って薄膜化する実験技術を確認し、原子フラットなゲート絶縁膜を有するOFETを安定して作製することができるようになった。これにより、従来のゲート絶縁膜を用いて作製したOFETとの特性比較を行うことが可能となり、エピタキシャル成長した多結晶薄膜におけるキャリア輸送に関するいくつかの重要な知見を得ることができた。

## 12. 今後の研究の推進方策 等

(今後の推進方策)

原子フラットなマイカをゲート絶縁膜兼基板とするOFETのキャリア輸送特性を評価することができるようになったことで、当初予想とは異なり、エピタキシャル成長することによって結晶ドメイン内のHOMOバンド端プロファイルのゆらぎが大きくなることを見出した。この理由として、エピタキシャル的に成長するにも関わらず薄膜と基板の格子が不整合であるというファンデルワールスエピタキシー特有の性質が関与していると推測している。OFETではキャリア輸送がゲート絶縁膜との界面極近傍で起こるため、分子/基板間相互作用の空間的ゆらぎがキャリアの感じるポテンシャルに影響を与えやすいからである。これを確認するため、ペンタセン以外の有機半導体材料として、十分な長さの柔軟な側鎖を有する 共役系低分子材料を活性層に用いて理想界面OFETを作製する。キャリアが輸送される 軌道と基板表面との間に構造緩和の機能を有する柔軟な側鎖を挟むことで、薄膜成長のエピタキシャル性を保ちつつ、キャリア輸送に対する分子/基板間相互作用の影響を小さくすることを試みる。側鎖の長さや種類を変えて、移動度の温度依存性やバンド端プロファイルを多角的に評価していく。

平行して、ペンタセンについても、成長時の基板温度や成長速度以外に、新たに入射する分子の運動エネルギーをパラメータとしてより結晶性の高い薄膜を成長させることを試みる。また、自由空間で成長させた単結晶を原子フラットOFET基板に貼り付けた単結晶OFETも作製し、キャリア輸送特性を比較する。

(次年度の研究費の使用計画)

該当なし

## 13.研究発表(平成24年度の研究成果)

〔雑誌論文〕計(1)件 うち査読付論文 計(0)件

著者名		論文標題【掲載確定】			
松原亮介, 坂井祐貴, 野村俊夫, 真島豊, 酒井正俊, 工藤一浩, 中村雅一		ペンタセン多結晶膜の結晶学的階層構造とキャリア輸送バンドに対する絶縁膜表面の影響			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
信学技報	無	112	2012	ED2012-5	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)					
なし					

〔学会発表〕計(7)件 うち招待講演 計(1)件

発表者名		発表標題【発表確定】	
中村峻介, 落合慧紀, 松原亮介, 中村雅一		マイカをゲート絶縁膜に用いたペンタセンTFTの作製およびキャリア輸送制限要因の評価	
学会等名	発表年月日	発表場所	
第60回応用物理学会春季学術講演会	2013年03月28日	神奈川工科大学	

発表者名		発表標題【発表確定】	
S. Ochiai, S. Nakamura, R. Matsubara, and M. Nakamura		Preparation of organic thin film transistor with ideally flat semiconductor/insulator interface using cleaved mica surface	
学会等名	発表年月日	発表場所	
Seventh International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics	2013年03月19日	福岡県福岡市	

発表者名		発表標題【発表確定】	
M. Nakamura		Interface Gap States in Pentacene Thin-Film Transistors Measured by Gate-Field-Modulated Thermally-Stimulated-Current Method	
学会等名	発表年月日	発表場所	
Workshop on the Nature of Gap States in Organic Devices(招待講演)	2013年01月18日	千葉県千葉市	

発表者名	発表標題【発表確定】	
R. Matsubara, S. Ochiai, and M. Nakamura	Crystal structures of pentacene polycrystalline films grown on cleaved-mica surface and its influence on carrier transport	
学会等名	発表年月日	発表場所
2012 MRS Fall Meeting	2012年11月29日	Boston, USA

発表者名	発表標題【発表確定】	
落合慧紀, 松原亮介, 大橋昇, 中村雅一	マイカ劈開面におけるペンタセン多結晶膜のエピタキシャル成長	
学会等名	発表年月日	発表場所
第9回薄膜材料デバイス研究会	2012年11月03日	奈良県奈良市

発表者名	発表標題【発表確定】	
R. Matsubara, T. Nomura, M. Sakai, K. Kudo, and M. Nakamura	Mobility Limiting Factors in Pentacene Thin-Film Transistors: Influence of the Film Growth Rate	
学会等名	発表年月日	発表場所
2012 International Conference on Solid State Devices and Materials	2012年09月25日	京都府京都市

発表者名	発表標題【発表確定】	
松原亮介, 落合慧紀, 中村雅一	マイカ劈開面上に成長したペンタセン薄膜の結晶構造	
学会等名	発表年月日	発表場所
第73回応用物理学会学術講演会	2012年09月14日	愛媛大学

(図書) 計( 0 )件

著者名	出版社			
書名			発行年	総ページ数

## 14. 研究成果による産業財産権の出願・取得状況

(出願) 計( 0 )件

産業財産権の名称	発明者	権利者	産業財産権の種類、番号	出願年月日	国内・外国の別

(取得) 計( 0 )件

産業財産権の名称	発明者	権利者	産業財産権の種類、番号	取得年月日	国内・外国の別
				出願年月日	

## 15. 備考

有機固体素子科学研究室

<http://mswebs.naist.jp/LABs/greendevic/>

近日中に、研究の具体例として一部の成果を紹介することを予定している。