

ゲート絶縁膜上の IV 族ナノクラスタ薄膜の構造的な研究

Structural analyses of IVth group nano cluster solids

Grown in the gate insulators

谷垣勝己^{a,b}, 平井俊成^a, 大橋弘孝^a, 赤田美佐保^a, 廣芝伸哉^a, 加藤健一^c, 青柳忍^c,
木村滋^c, 高田昌樹^{c,d}

Katsumi TANIGAKI^{a,b}, Toshinari HIRAI^a, Hirotaka OHASHI^a, Misaho AKADA^a,
Nobuya HIROSHIBA^a, Kenichi KATO^c, Shinobu AOYAGI^c, Shigeru KIMURA^c,
and Masaki TAKATA^{c,d}

^a 大阪市立大学, ^bCREST/JST, ^cJASRI/SPring-8, ^d 名古屋大学

^aOsaka City University, ^bCREST/JST, ^cJASRI/SPring-8, ^dNagoya University

C₆₀ ナノクラスタ薄膜を半導体層とした電界効果型素子(FET)構造において、金属内包フラーレンによる半導体-電極界面修飾を試み、薄膜構造とデバイス特性の相関を検討した。基板-C₆₀ 薄膜界面での、La 内包 C₈₂ 薄膜の有無による C₆₀ 薄膜構造の変化は無いことがわかった。しかしながら、La 内包 C₈₂ 薄膜で界面を修飾することで FET 動作特性が向上することが明らかになった。これらの結果は、薄膜デバイスの界面構造制御が、デバイスのキャリア制御に対する有効な手法であることを示している。

The aims of this study are to see how efficiently electron carries are injected into C₆₀ thin films when endohedral fullerenes are used as an interface layer. The structure of C₆₀ thin films fabricated on the endohedral fullerenes thin film layer is accurately studied by XRD experiments. XRD results clearly indicate that the thin film growth of C₆₀ is not very much influenced by whether La@C₈₂ exists or not. However, the enhancement in the FET properties is observed when La@C₈₂ exists as an interfacial layer between Au electrodes and C₆₀ thin film. The control in the interface contact between the electrode and the underneath semiconducting thin films is essential to the C₆₀ FET properties.

背景

20 世紀における材料・物質の進歩の一つにクラスタを挙げることができる。それまで数個から 10 個程度の金属あるいは半導体のクラスタでの基礎研究が、ナノサイズの多面体クラスタ

の発見により物質科学として大きく進展した。それまで微細加工あるいは原子を一つずつ動かす原子マニピレーションという手法でナノ構造を有する材料ならびに基礎物性の開拓を目指していた科学技術が、自己組織化という新しい”

キーワード”に基づく物質開発が始まったからである。現在、このような単位積み上げ型の物質設計をボトムアップ型と称している。本研究課題申請は、ナノクラスタ技術を次世代に活用できる科学技術に進展させるために、特に薄膜状態の IV 族元素クラスタの構造および電子物性の相関に着目した研究であり、IV 族炭素原子により構成される C₆₀ フラーレン薄膜を用いた電子デバイスとして FET 構造を対象としている。これまでのフラーレン FET の研究において、作製・処理条件が薄膜構造に与える影響を調べ、FET 動作特性との関連を検討してきたが、近年、FET 構造の半導体薄膜-電極界面における界面構造制御が動作特性の向上に対して有効であることがわかってきた。そこで、金属内包フラーレン (La 内包 C₈₂) 薄膜で界面修飾した C₆₀-FET を製作し、薄膜構造および FET 特性の評価を行った。近年、カーボンナノチューブをはじめとする炭素系ナノクラスタ関連物質を用いた FET が新規ナノデバイスとして注目され、国際的な開発競争が進められている。したがって、FET 構造におけるナノクラスタ半導体薄膜の構造と物性との関係を明らかにすることで、ナノクラスタ固体での構造と物性の関連についての基礎的な知見を得ることを目的とした本研究は、ナノテクノロジー分野における研究として大変重要であると認識している。

実験

あらかじめ La 内包 C₈₂ を蒸着した FET 基板、および蒸着していない基板それぞれに対して MBE 装置を用いて C₆₀ 薄膜を高精度に成膜した。X 線回折測定は BL02B2 の施設を最大限に利用し、薄膜試料のスペクトルを正確に得ることができる、薄膜試料表面に対する X 線の入射角を

2° とする低角入射のアライメントを選択した。C₆₀-FET においては X 線回折測定に用いた薄膜試料と同様の成膜条件で FET 構造を作成し(図 1)、I-V 測定を行った。

結果および考察

C₆₀ 薄膜試料の X 線回折測定の結果から、C₆₀ 薄膜-基板界面における La 内包 C₈₂ 薄膜の有無に係らず、C₆₀ 薄膜構造に由来する同様のスペクトルが得られることがわかった。これはすなわち、C₆₀ 薄膜-基板界面での La 内包 C₈₂ 薄膜の存在が、C₆₀ 薄膜の成膜において構造的な影響を与えないことを示している。次に FET 特性についてであるが、La 内包 C₈₂ 薄膜による C₆₀ 薄膜-電極界面の修飾により動作特性が変化することがわかった。これまでの研究において、C₆₀-FET の作製後、デバイスを一度大気にさらすと特性が失われ、再び特性を発現させるには真空下でのアニール処理が必要であることがわかっている。しかしながら C₆₀/La 内包 C₈₂-FET においては、アニール処理することなく、C₆₀ 薄膜に起因した FET 特性を発現した。C₆₀ 薄膜構造に変化がなかったことを考えあわせると、C₆₀/La 内包 C₈₂-FET における動作特性の改善は La 内包 C₈₂ 薄膜による C₆₀ 薄膜-電極界面の修飾した効果によるものであると考えることができる。

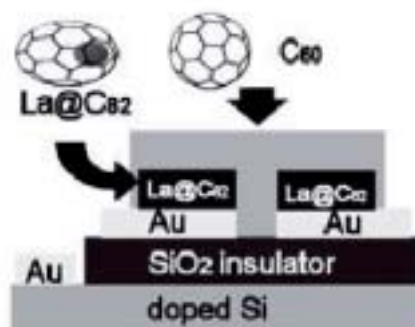


図 1. C₆₀/La 内包 C₈₂-FET 構造

今後の課題

本研究結果より、薄膜デバイスの界面構造制御が、デバイスのキャリア制御に対する有効な手法であることが示された。また、高輝度光を用いた構造解析がナノスケールにおける材料設計に非常に有効であることを示した。今後引き続き、様々な興味深い物性を有する IV 族元素多面体ネットワーク物質を用いた薄膜デバイス創製への展開を目指した実験を計画している。

発表論文

- [1] N.Hiroshiba, R.Kumashiro, T.Akasaka and K.Tanigaki, 第 26 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム.