

放射光による有機薄膜の構造評価とトランジスタ作製

岩佐 義宏^a, 竹延 大志^a, 小林 慎一郎^a, 森 聡^a, 高野 琢^a, 伊藤 崇芳^b
^a東北大学金属材料研究所, ^b北陸先端科学技術大学院大学

背景

近年、有機分子を用いた電界発光素子 (Electroluminescence, EL) の研究は非常に精力的に行われており、有機ELディスプレイは既に商業化の域に達している。これらは、低電圧駆動、大画面化、作製条件の容易さなどを反映して、一部の商品では製品化が実現している。このような有機ELの進歩から、EL素子だけでなく駆動部分に相当するトランジスタも有機素子に置き換えた全有機デバイスの作製が現在活発に研究されている。特に、最近の有機薄膜電界効果型トランジスタ (Field effect transistor, FET) の易動度は著しく向上しアモルファスシリコンに匹敵する値になってきており実用化が期待されている^{1),2)}。このような易動度の上昇は薄膜の膜質の向上が原因と考えられているが、実験的な検証は十分とは言えない。そのため、X線などを用いた精密な薄膜評価を平行して行ったデバイス作製が必要である。薄膜評価を平行させてのデバイス作製の試みは、高品質の極薄膜を用いた単分子層デバイスの作製などにつながると期待される。また、近年では電子線リソグラフィ技術を用いてナノスケールの電極ギャップを作製しナノスケールの有機薄膜FETの作製も精力的に行われている。こういった微細電極作製技術と薄膜作製技術を組み合わせる事で将来の単分子を用いたナノスケールデバイスの実現に発展する事が期待される。本研究では分子線蒸着装置 (Molecular Beam Deposition, MBD) を用いて高品質薄膜を作製し 同一の薄膜でX線回折装置による構造評価とデバイス作製を行い高

いデバイス性能を示す薄膜作製のプロセスを見出す事を目的としている。

実験

実験はBL02B 2 の粉末X線回折装置を用いて行った。測定装置は、大型デバイセラーカメラとその架台から構成されている。2θ軸にカメラ半径278mmの湾曲型カメラを搭載し、ω軸は中空とし通常使用する。このようなBL02B 2 の標準的な装置レイアウトで実験を行った。具体的には、薄膜試料をゴニオメータ上に固定し反射法にて回転試料法で測定する。その際、イメージングプレートのスリットは取り外し、薄膜上の結晶配向についても、評価を行った。

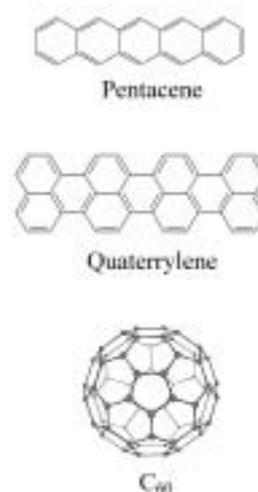


図1 今回用いた有機分子の分子構造と名称。

薄膜は、分子線蒸着装置 (Molecular Beam Deposition, MBD) を用いて高真空下で製膜した。まず、p型シリコン基板上に熱酸化法で二酸化シリコン膜を成長させ、さらにその上にフォトリソグラフィ法を用いてギャップが20μmのソース・ドレイン電極を作成した。このように作製した基板をMBD装置の高真

空チャンバー内に入れ1日間高真空下で加熱処理した後に、有機物を製膜した。最後に、デバイスとしての評価とX線回折法を用いた構造評価を行い相補的に考察を行った。具体的に用いた有機物は、高いp型易動度で知られているペンタセン、より π 電子性が強いと思われるクオーテリレン、n型の中では比較的高い易動度を持つC₆₀を用いて行った。図1に、今回用いた有機分子の分子構造と名称を示す。

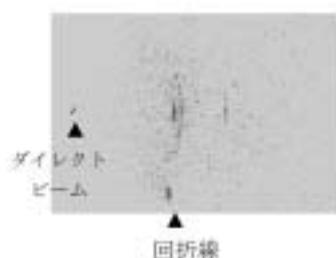


図2 ペンタセン薄膜の二次元回折像。

結果、および、考察

図2に、ペンタセン薄膜の二次元回折像を示す。左端中央に見えている小さな黒い点がダイレクトビームであり、そこを中心として右方向に広がっている三日月状の数本の線がペンタセンの回折線である。また、これ以外にもSi単結晶基盤のスポットや、二酸化シリコンに起因する散漫散乱が観測された。注目すべき点は、ペンタセンの回折線が完全なリングになっていない点であり、基板に垂直方向だけでなく面内方向に対しても結晶性の高い薄膜である事がわかる。これは、二次元回折像を測定してはじめて明らかになる結果である。このような、薄膜の高い結晶性は恐らくはペンタセン分子に依存しており分子の高配向性が高い易動度を実現している可能性を示す。同様の高い結晶性は、クオーテリレンでも観測する事が出来た。一方C₆₀薄膜ではこのような三日月状の反射は観測されず、粉末回折と類似したリング状の回折パターンが観測された。しかしながら、このような面内・面間結晶性が高くないと思われるフラーレン薄膜がデバイス特性評価ではn型としては極めて

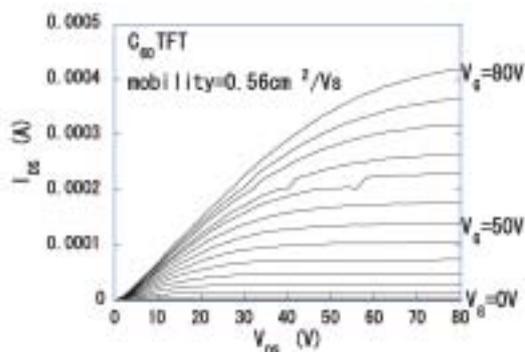


図3 C₆₀薄膜FETの電流・電圧特性。

て高い易動度($\mu \sim 0.56 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)を示した。図3に、C₆₀のFET特性を示す。ペンタセンに比べると低結晶性ながら高い易動度を示す事は極めて興味深い。これは、C₆₀分子の分子構造の高対称性に起因していると思われる。

今後の課題

本研究により、高い易動度を示すペンタセン薄膜は、面内・面間で高い結晶性を持つ事が明らかとなった。一方C₆₀薄膜では、必ずしも結晶性と易動度の間で相関が存在しない事が明らかとなった。今後、さらに回折実験とデバイス評価を平行して行う事で、構造と易動度の関係が明白となり、より高い易動度を持つ極薄膜の作製が期待される。

参考文献

- 1) C. D. Dimitrakopoulos and P. R. L. Malenfant, *Adv. Mater.* **14** (2002), 99.
- 2) Y. Y. Lin, D. J. Gundlach, S. F. Nelson, and T. N. Jackson, *IEEE Trans. Electron Devices* **44** (1997), 1325.

発表論文

- [1] 竹延大志、森 聡、飯田覚、J. W. G. Bos、山崎和良、岩佐義宏：日本物理学会2002年秋季大会（口頭発表）
- [2] 森 聡、小林慎一郎、竹延大志、岩佐義宏、藤原明比古：第58回日本物理学会年次大会（口頭発表）
- [3] 小林慎一郎、森 聡、竹延大志、岩佐義宏、藤原明比古：第64回応用物理学会（口頭発表）