

Development of Low-temperature Microwave-based Measurement Systems Evaluating Local-scale Charge Carrier Mobility at Interfaces

KAI KUBOTA¹, JUNICHI INOUE², WOOKJIN CHOI², YUSUKE TSUTSUI²,
TSUNEAKI SAKURAI² & SHU SEKI^{2*}

¹Todaiji Gakuen Senior High School, ²Graduate School of Engineering, Kyoto University

Abstract

Charge carrier mobility is one of the most important physical properties for evaluating semiconductor performance. In this study, we employed field-induced time-resolved microwave conductivity (FI-TRMC) method featuring contactless evaluation of intrinsic carrier mobility, instead of the widely used field-effect transistor (FET) approach. In order to analyze the electronic properties of the semiconducting materials, temperature control is a significant subject. In this study, we have addressed to develop the variable-temperature (VT) FI-TRMC system. Graphene and pentacene were selected as target materials and each of them was evaluated at $-70\sim 22^\circ\text{C}$ using the FI-TRMC method under the flow of cooled N_2 gas. The single-layer graphene and vapor-deposited pentacene on a poly(methylmethacrylate) layer showed negative and positive correlations between temperature and hole mobility, respectively. This observation strongly agrees with the proposed conduction mechanisms; i.e., the band model was most likely operated for the single-layer graphene while the hopping conduction dominated the pentacene. From the Arrhenius plots, the activation energy of pentacene was estimated at 92 meV, which agrees with that previously reported for typical organic semiconductors. These results indicate the reliability of our VT FI-TRMC system.

Key words: Charge carrier mobility, Microwave, Temperature dependence, Charge transport mechanism, Activation energy

要旨

半導体性能を評価する重要な指標として、電荷移動度が挙げられる。これを測定する従来の Field Effect Transistor (FET) 法に対し、本研究では絶縁体 - 対象材料界面での局所的な電荷輸送特性の選択的評価が可能な Field-Induced Time-Resolved Microwave Conductivity (FI-TRMC) 法を用いた。材料の電子物性を調べるにあたり、温度の制御は新たな知見を得るのに重要な要素である。そこで今回は、材料にグラフェンとペンタセンを使用し、 -70°C ~ 室温においてそれぞれの電荷輸送機構を解析することで、温度可変 FI-TRMC 法の確立を目指した。電荷輸送機構は、グラフェンはバンド伝導、ペンタセンはホッピング伝導であることが知られている。測定装置の空洞共振器付近を断熱材で覆い、その中を液体窒素で冷やした窒素ガスをフローさせるシステムを今回新たに構築し、試料の移動度の温度依存性を調べたところ、グラフェン素子では温度上昇に伴い正孔移動度の減少が確認され、ペンタセンではその逆の傾向を示すことから、それぞれ提唱されているバンドおよびホッピング伝導機構を支持した。ペンタセンに関しては、実験データから 92 meV という活性化エネルギー値を算出し、既報の有機半導体の値に近いことを確認した。これらの結果は、本研究で開拓した温度可変 FI-TRMC 法が低温実験法として信頼できることを支持している。

重要語句: 電荷移動度、マイクロ波、温度依存性、電荷輸送機構、活性化エネルギー

マイクロ波による低温下の界面電荷移動度測定法の確立

久保田 海¹, 井上 純一², 崔 旭鎮², 筒井 祐介², 櫻井 庸明², 関 修平^{2*}

¹東大寺学園高等学校, ²京都大学大学院工学研究科

* 内容に関する連絡先: seki@moleng.kyoto-u.ac.jp

本研究論文は、ELCAS 専修コース物性物理化学分野の研究成果をまとめたもので、この一部の成果を含む内容が、ACS Omega 誌 (2017, 2, 164–170, <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsomega.6b00428>) に 2017 年 1 月 20 日付で掲載された。原著は英文のみで、閲覧は誰でも可能 (オープンアクセス) である。