

# 強磁場計測とデータ解析技術の融合によるエネルギーデバイス材料評価システムの確立に向けた基礎調査研究

## Advanced carrier analysis for semiconductor devices with high field measurement and mobility spectrum method

### 概要

半導体材料においてキャリアの移動度などの基礎的評価を行う際、強磁場輸送計測が果たす役割は大きい。それに加え、各種材料開発において、複数キャリアの新たな評価法の確立が必要となっている。そこで本調査研究では、創エネルギー材料や省エネルギー材料における強磁場輸送計測の確立を行い、移動度スペクトル法との融合による新たなキャリア評価手法の可能性について調査を行った。

We have performed high field transport measurements in semiconductor devices, and tried to apply the mobility spectrum method for the obtained data.

### 強磁場輸送計測と各種材料系

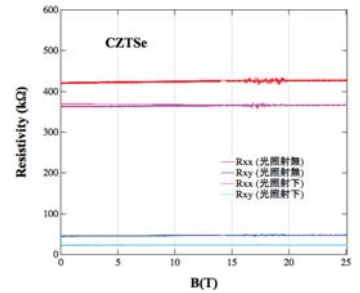
#### High field transport measurement and Semiconductor materials

定常強磁場磁石 (ハイブリッド磁石、最大磁場35テスラ)



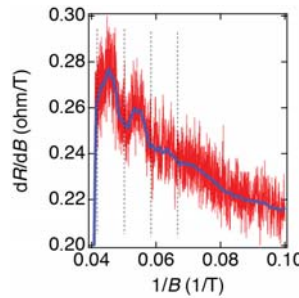
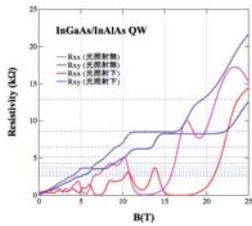
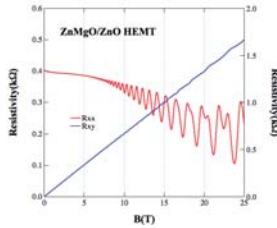
#### 太陽電池材料 (CZTSe等)

- CZTSeなど、種々の新しい太陽電池材料が開発が進んでおり、更なる高効率化のためにはキャリア移動度、キャリア濃度、キャリア極性の新たな評価手法の確立が必要。
- 特に少数キャリアの移動度評価手段の確立は重要であり、光照射下での強磁場輸送測定が必要となっている。



#### 半導体量子ホール系材料 (ZnO, CdTe, GaAs等)

- 移動度が高く、理想的な二次元電子系。
- 強磁場極低温下での量子現象である量子ホール効果が様々な材料系で近年発現。
- SdH振動や量子ホールプラトーの観測により、キャリア移動度やキャリア濃度に関する情報を得ることができる。
- 二層系などの複数キャリアシステムの場合の解析が難しい。



#### トポロジカル結晶絶縁体 (SnTe等)

- ミラー対称性に起因する新しいクラスのトポロジカル絶縁体。
- 原理的にはフェルミ面を制御することで、試料表面のみが金属で、試料内部は絶縁体となる。現実的には試料内部にもキャリアが残る。
- 金属的な試料表面のキャリアのスピンが偏極していることや、そのエネルギー分散も線形であることなど、基礎的にも応用的にも注目を集めている新材料。
- 通常の電気抵抗測定では表面と内部のキャリアの分離は難しい。

### 移動度スペクトル法の適用

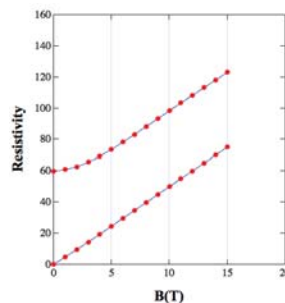
#### Mobility spectrum method

##### 移動度スペクトル法\*

- 磁気抵抗とホール抵抗の測定データから、キャリアの極性、キャリア移動度、キャリア濃度を算出。
- キャリアが複数の場合 (特に不明な場合) の解析に威力を発揮する。
- 問題的には逆問題とよばれるもので、1990年代までに開発が進み、半導体二次元電子系などへの応用は進んだが、そのほかの材料系への展開や適用限界に関する研究を行う必要がある。

\* See W.A.Beck and J.R.Anderson, J. Appl. Phys. 62, 541 (1987).

#### 適用例



逆問題の数学技法を駆使

$$\sigma_{xx}(B) = \int \frac{s(\mu)d\mu}{1 + (\mu B)^2}$$

$$\sigma_{xy}(B) = \int \frac{s(\mu)(\mu B)d\mu}{1 + (\mu B)^2}$$

