

訪問日 2016年5月17日

東京大学 工学系研究科物理工学専攻量子相エレクトロニクス研究センター 打田 正輝 助教

研究題名：イリジウム酸化物半金属における革新的電子機能の創出

### 東京大学・打田正輝先生を訪ねて

先生はイリジウム酸化物半金属の新しい物質機能の開拓に向けた研究をしており、世界で初めてそのキャリアタイプの磁場制御に成功しています。当日はプロジェクターにて、先生が研究している半金属とは何か、研究の背景も含めて研究対象となるイリジウム酸化物の特異な物理特性、実験方法、その結果、そして将来の展望の順にご説明いただきました。私にとり大変難しい話ですので、記述に多々不備のあることをお許し下さい。ご説明いただきました内容については、一部しか記載できないことをお許し下さい。

一般的に半導体は化学的なドーピングにより電子又はホールを作りますが、GaN などどちらかにするのが難しいものも多くあります。IrO<sub>2</sub>という物質は、ホール的な部分と電子的な部分の両方がバンド構造としてあります。運動量空間と呼んでいるフーリエ変換した空間で、電子的な部分とホール的な部分の一部分を片方だけの性質がより顕著になるようにします。磁場をある向きに加えたときは電子的な部分が現れ、磁場を別の向きにするとホール的な部分が現れるというイメージだそうです。IrO<sub>2</sub>は5d軌道に5個電子がある(5d<sup>5</sup>)ため、スピン軌道相互作用によって誘起された半金属の状態になります。つまり電子とホールが両方存在するような状態にフェルミレベルがきます。Irはそこがロバストな性質になっているようです。IrO<sub>2</sub>は半金属なのですが、その電気的な性質は極めて金属的で、電極材料として昔から知られています。また、アモルファス IrO<sub>2</sub>、多結晶 IrO<sub>2</sub>は、巨大スピンホール効果を持つ材料としても最近注目されています。

電子的な部分とホール的な部分が現れるバンド構造がどのように結晶構造と関係あるかを説明いただきました。それにはバンドの折り返しというものが必要になり、それがこの結晶構造では起きているとことです。この折り返し構造が起きると、電子的な部分とホール的な部分が確かにあるという状態になるようです。

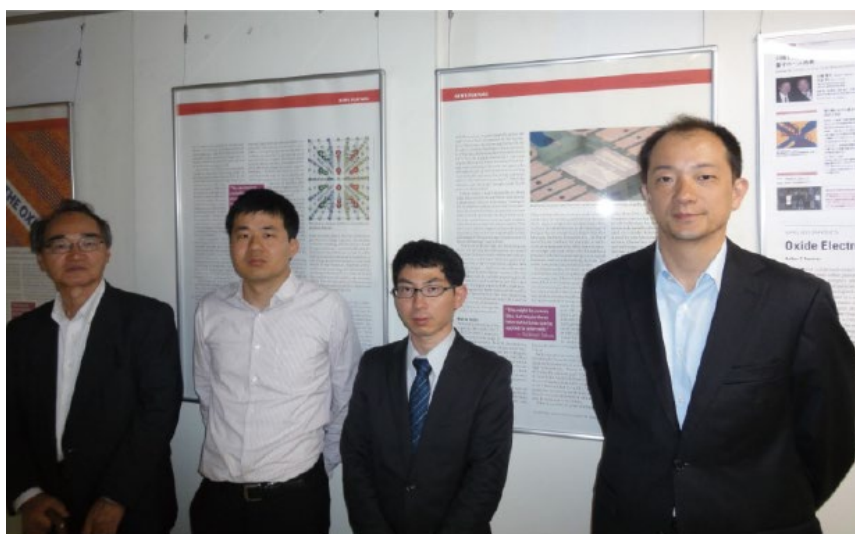
イリジウム酸化物はパルスレーザー堆積法及び分子線エピタキシー法により作製されています。作製した IrO<sub>2</sub> 薄膜は高結晶性のエピタキシャル膜で、X線回折結果でのフリンジの状態からすごく綺麗な結晶になっており、それはロッキングカーブの半値幅が0.03度と小さいことから言えるようです。またXRDの格子マッピングから IrO<sub>2</sub>が TiO<sub>2</sub>基板に対してエピタキシャルに成長していることが分かります。原子間力顕微鏡(AFM)像からは膜が非常に平滑であること、反射高速電子線回折(RHEED)像からは2次元的なストリークパターンが見られます。

磁場を[100]に掛けたときは、キャリアはホールになっており、[001]や[101]に掛けたときはキャリアは電子になっています。これは電流の向きには依存せず、磁場の向きだけで決まります。この性質は驚くべきことに室温でも十分に現われ、この材料は安定領域がかなり広くて、室温でも電子的、ホール的というのが切り換えられます。各結晶面でのホール係数を実験結果と計算結果とで比較すると傾向は一致します。支配的なキャリアタイプが、磁場の方向とc軸との間の傾斜角で決まります。

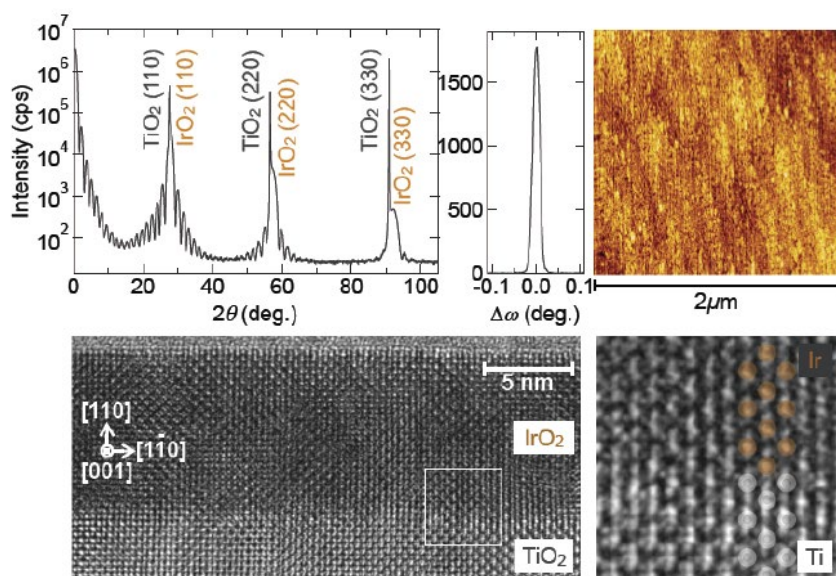
今回は磁場の話ですが、他の外場によって、電子・ホールを制御することも可能なようです。使いたいときだけpn接合になれば、画期的な省エネデバイスが実現できます。現在研究室では、パイロクロア型イリジウム酸化物、新しいトポロジカル物質「ワイル半金属」など、更にバンド構造が複雑な物質にも取り組んでいるとのこと。

将来予想もできない材料が出現するのではないかと期待が膨らんだ訪問でした。

(2016年5月17日訪問、技術参与・飯塚)



左から2人目が打田先生



IrO<sub>2</sub>薄膜の構造評価