

化合物半導体中の微量添加元素の電子状態解析 Electronic structure analysis of trace element in compound semiconductor

飯原 順次、斎藤 吉広
Junji Iihara, Yoshihiro Saito

住友電気工業(株)
Sumitomo Electric Industries, Ltd.

InP 中での p 型ドーパントである Zn の構造と活性化率の関係解明のため、InP 中の $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の Zn L_3 吸収スペクトルを測定し、電子状態の解明を目指している。従来の MCP を用いた TFY (Total Fluorescence Yield) mode で $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の Zn L_3 吸収スペクトルを測定するには Zn 添加層の抽出による濃縮が必要であった。今回、SDD を用いる PFY (Partial Fluorescence Yield) mode での測定が可能となり、前処理無しでの InP 中の $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の Zn L_3 吸収スペクトルが測定可能となった。

キーワード：半導体レーザー、フォトダイオード、InP、XAFS、SDD、軟 X 線

背景と研究目的：

化合物半導体である InP は、フォトダイオードや HBT(Heterojunction Bipolar Transistor)などの光通信用デバイスに必要不可欠の材料である。デバイス特性を改善するには、材料の電気的な特性を精密に制御することが求められている。そのための課題の一つとして、添加された微量元素の活性化率の安定化が挙げられる。

一般に、InP 用の p 型添加元素として、Zn が用いられることが多い。Zn の活性化率は、製造プロセスの条件によって 30 %~100 % の範囲で変化する。その要因として、Zn が占有する格子位置の違い、Zn を不活性化させる水素の混入などが指摘されているが、特定には至っていない。

本件はこの問題に対し、Zn 不純物の電子状態を元素選択的に調査し[1]、原子レベルでプロセス安定化の指針を得ることを目指している。2006B0152 において、InP 中の $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ Zn- L_3 吸収スペクトルの検出に成功した。しかしながら、検出器が約 6 時間で劣化する現象に見舞われ、再現性の確認に至らなかった。これを受けて 2007A1891 において、安定した測定条件の検討を実施したが、 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の Zn L_3 スペクトルの検出にはいたらず、2007B1720 において、エピ層のみを抽出、濃縮することで測定が可能となっていた。本課題では、新たに導入された SDD システムを用いることで、ウェハ形状で、InP 中の $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の Zn L_3 スペクトル検出を目指した。

実験：

Zn L_3 XAFS 測定は BL27SU を用いて行った。SDD 検出器は放射光に対して 90 度方向に設置されている。測定条件として、入射角および入射光の偏光依存性を調査した。

試料は、InP 基板の上に成長した p-InP エピ層を用いた。ドーパントは $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ もしくは $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の Zn である。

結果および考察：

図 1 に Zn L_3 -XAFS スペクトルの入射光の偏光依存性を示す。Zn 濃度は $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、入射角は

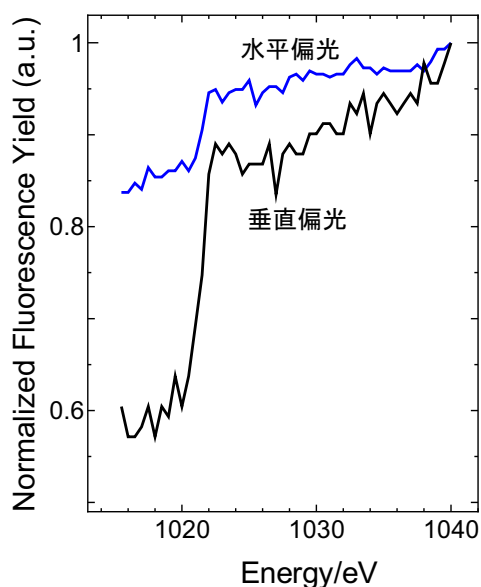


図 1. InP 中 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ Zn の L_3 -XAFS の入射光の偏光依存性

10 度である。入射角が大きいことと測定時間が 5 秒/点と短いため S/N は良くないものの、垂直偏光で測定することにより水平偏光での測定よりもバックグラウンドを低減できることがわかる。これは SDD に入る散乱線低減の効果である。

図 2 には入射角を約 1° とした際の $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の Zn L_3 -XAFS スペクトルである。S/B で 6 以上のスペクトルを得ることが出来ている。同条件にて測定した、 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の Zn L_3 -XAFS スペクトルを図 3 に示す。このような低濃度の試料においても S/B \sim 2 での測定を行うことができることを確認した。

図 4 には活性化率が異なる $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の Zn L_3 -XAFS スペクトルを示す。高活性化率の試料と低活性化率の試料で XAFS スペクトルの形状が明確に異なっていることがわかる。

以上のように、BL27SU の高輝度軟 X 線放射光と SDD を組み合わせることにより、半導体中の低濃度のドーパントの化学状態分析が可能となった。

今後の課題：

現在のシステムでは、入射角の制御精度は 1° 程度である。特に低角入射することにより、さらなる BG の低減、感度向上が期待出来ること、試料間の比較を行う上でも入射角度の制御精度の向上に期待したい。

参考文献：

[1] J.Iihara et al., JJAP,44(9A),6612(2005).

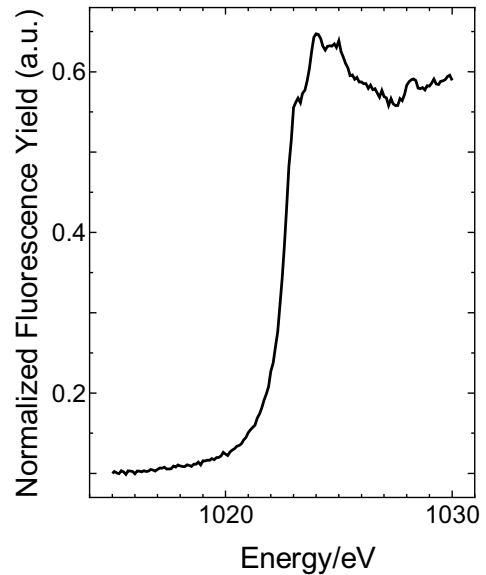


図 2. InP 中 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ Zn の L_3 -XAFS (入射角 約 1° 、垂直偏光)

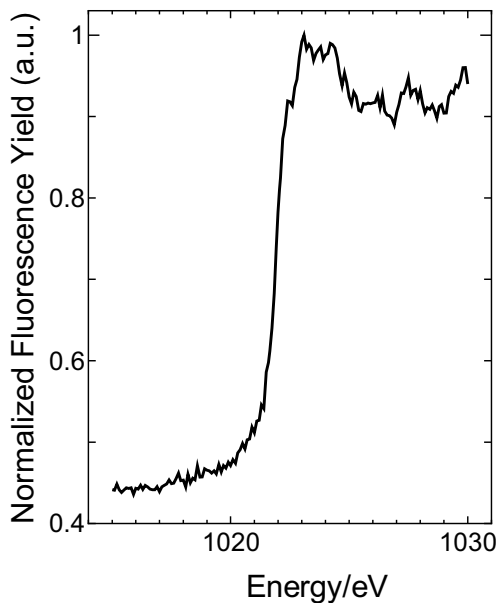


図 3. InP 中 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ Zn の L_3 -XAFS (入射角 約 1° 、垂直偏光)

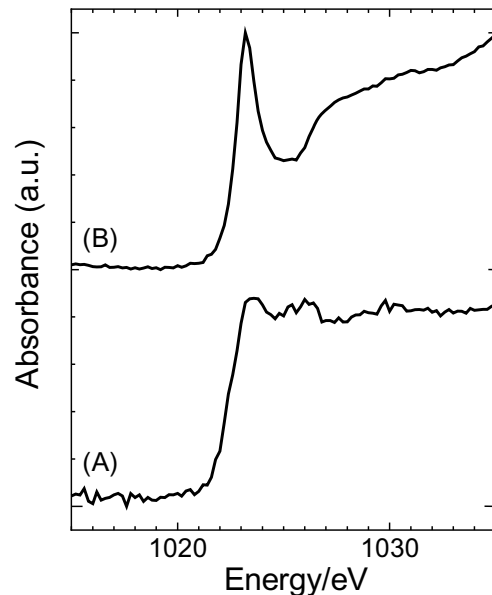


図 4. InP 中の活性化率が異なる Zn L_3 -XAFS 比較 (Zn 濃度 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) (A) 低活性化率、(B) 高活性化率