

ホール効果測定からの SiC 中の不純物評価

Characterization of impurities in SiC from Hall-effect measurements

松浦 秀治

大阪電気通信大学 工学部 電子工学科

〒572-8530 寝屋川市初町 18-8

TEL: 072-824-1131 FAX: 072-824-0014 E-mail: matsura@isc.osakac.ac.jp

はじめに

結晶成長後、ホール効果測定を用いて多数キャリア密度と移動度の測定がよく行われている。実験で得られる多数キャリア密度の温度依存性[$n(T)$ または $p(T)$]には不純物や欠陥の情報が多く含まれているが、このデータを用いて不純物や欠陥の評価はあまり行われていない。これは、解析結果の信頼性に問題があるためである[1-3]。例えば、n 型半導体の場合、 $n(T)-1/T$ のグラフの傾きからドナー準位が求められ、飽和値からドナー密度が見積もれるが、この方法は 1 種類のドナーだけ含まれている場合にしか適用できない。一般的に、結晶中には多種類の不純物（ドナーやアクセプタ）が含まれるため、この方法の適用は困難となる。次に、カーブフィッティング法が用いられるが、この方法を行う前にドナー準位の数を仮定しなければならない。したがって仮定の仕方により、得られた結果が異なる。これに対して、ドナー準位の数をグラフから読み取れるようにするため、各々のドナー準位に対してピークを持つ評価関数を用いる方法が Hoffmann により提案されている。しかし、実験で得られた $n(T)$ を微分(差分)するため、実験誤差が増大し、ピーク解析が困難になり、それに伴いドナー準位とドナー密度の精度が問題になる。

このような状況から、 $n(T)$ を微分せずに、各々のドナー準位に対してピークを持つ評価関数を提案し、その関数のピーク温度とピーク値からドナー準位とドナー密度を高精度で見積もることのできる解析方法 (Free Carrier Concentration Spectroscopy: FCCS) の実用性を検証してきた[1-16]。

さらに、ワイドバンドギャップ半導体のアクセプタ準位は深いため、通常用いられる Fermi-Dirac 分布関数を利用して、 $p(T)$ からアクセプタ密度を見積もると、添加したドーパント濃度より数倍以上大きくなる。これに対し、アクセプタの励起状態を考慮した分布関数を提案し、この問題を解決することを試みている[6-9]。

Free Carrier Concentration Spectroscopy

FCCS 信号は、

$$H(T, E_{\text{ref}}) \equiv \frac{n(T)^2}{(kT)^{5/2}} \exp\left(\frac{E_{\text{ref}}}{kT}\right) \quad \text{または} \quad H(T, E_{\text{ref}}) \equiv \frac{p(T)^2}{(kT)^{5/2}} \exp\left(\frac{E_{\text{ref}}}{kT}\right) \quad (1)$$

で定義される。ここで、 k は Boltzmann 定数であり、 E_{ref} はピークを測定温度内に移動させるパラメータである。この評価関数は、各々の不純物準位でピークを持つことから、ピークの数から不純物の種類が分かる。さらに、各々のピーク温度とピーク値からエネルギー準位と密度が評価できる。また、多数キャリア密度に影響を与える欠陥が存在する場合、これらの欠陥の密度とエネルギー準位も評価できる。実際、放射線照射により正孔密度が減少した p 型 Si 及び p 型 SiC 中の欠陥が評価できた[10-12]。尚、FCCS 法による解析が行えるように、FCCS の Windows アプリケーションソフトウェアはホームページ

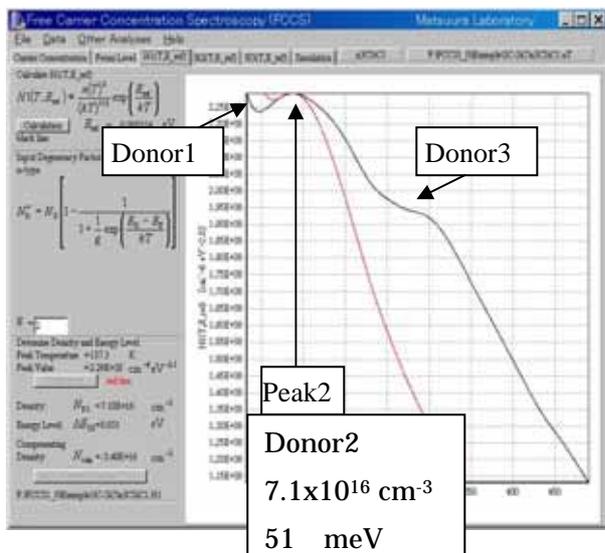


図 1 Undoped 3C-SiC の FCCS 信号

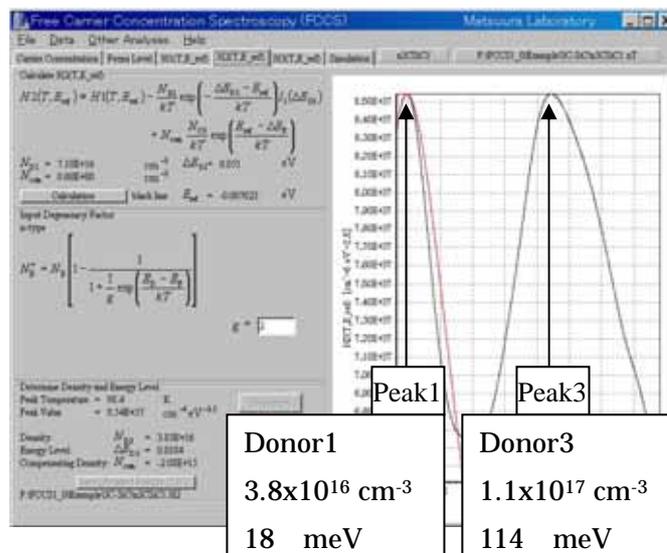


図 2 評価したドナーの影響を除いた FCCS 信号

(<http://www.osakac.ac.jp/labs/matsuura/>) から無料でダウンロードできるようになっている。

Undoped 3C-SiC

$n(T)$ を用いて定義式(1)から得られた FCCS 信号を図 1 に示す。ピークとショルダー、さらに低温で信号が増加していることより、最低 3 種類のドナーが存在することが分かる。このピークから 1 種類目のドナー密度とドナー準位が評価できる。決定したドナーの影響を取り除いた FCCS 信号を図 2 に示す。先ほど推測していた残り 2 種類のドナーに対応するピークが現れ、それぞれからドナー密度とドナー準位が評価できる。このように、今回評価した undoped 3C-SiC 中には 3 種類のドナーが存在することが分かり、さらにそれぞれのドナー密度とドナー準位を見積もることができた[13,14]。

4H-SiCでのドーパント準位と移動度のドーパント密度依存性

n 型および p 型の 4H-SiC エピ膜をホール効果測定し、FCCS を用いて各ドーパント密度を見積もり、それらよりドーパント準位と移動度のドーパント密度依存性を得ることができた[15,16]。

p型SiCおよびp型GaNの正孔密度の温度依存性からのアクセプタ評価

アクセプタの励起状態を考慮した分布関数を提案し、この分布関数と FCCS 法により、 $p(T)$ から妥当なアクセプタ密度とアクセプタ準位を見積もることができた[6-9]。

- 参考文献** [1] H. Matsuura *et al.*, JJAP 35(1996)L555. [2] H. Matsuura, JJAP 36(1997)3541. [3] H. Matsuura *et al.*, JJAP 38(1999)4013. [4] H. Matsuura *et al.*, JJAP 41(2002)496. [5] H. Matsuura *et al.*, JJAP 37(1998)6034. [6] H. Matsuura, New J. Phys. 4(2002)12.1 (<http://www.njp.org/>) [7] H. Matsuura *et al.*, JAP 94(2003)2234. [8] H. Matsuura *et al.*, phys. stat. sol. (c) 0(2003)2214. [9] H. Matsuura *et al.*, JAP 95(2004)4213. [10] H. Matsuura *et al.*, JJAP 37(1998)6034. [11] H. Matsuura *et al.*, APL 76(2000)2092. [12] H. Matsuura *et al.*, APL 83(2003)4981. [13] H. Matsuura *et al.*, JJAP 39(2000)5069. [14] H. Matsuura *et al.*, JAP, to be published in the December 15 2004 issue. [15] H. Matsuura *et al.*, JAP 96(2004)2708. [16] S. Kagamihara *et al.*, JAP, to be published in the 1 November 2004 issue.