



ZnSSe への p 型高濃度ドーピングと Au 電極特性

右田 雅人・大家 彰・百瀬 正之・後藤 順

(株)日立製作所中央研究所オプトエレクトロニクス研究センター 〒185 国分寺市東恋ヶ窪 1-280

1. ま え が き

MBE と窒素プラズマの組み合わせの手法により再現性よく窒素ドーピング p 型 ZnSe が作製できるようになり¹⁾, これが契機となって青緑色半導体レーザーが実現された²⁾. その後実用化へ向け活発に研究が進められている³⁻⁹⁾. 一方, 基礎研究的観点からのみならず, 生産技術的観点からも重要な MOCVD もしくは MOMBE による p 型 ZnSe の作製とレーザー実現の試みも続けられている^{10-12,14)}. 本小論では, アンモニアを用いた MOMBE と窒素プラズマを用いた MBE のそれぞれの手法で作製した窒素ドーピング p 型 ZnSSe の電気特性を比較検討した.

2. Au/ZnSSe: N コントクトの電流-電圧特性

MOMBE 法¹⁴⁻¹⁷⁾により形成した Au/p-ZnSe: N コントクトの電流-電圧 (I - V) 特性を図 1 に示す⁹⁾. 基板には半絶縁性 GaAs (100) を用いた. 図 1 (a) は室温下で Au を蒸着した試料の, また (b) はこの試料に 75 V-80 μ s, 120 Hz の交流電流パルスを数分間印加した後の, そして (c) は (a) の試料を 300°C, 5 分間アニールした後のそれぞれの I - V 特性を示している. ここで, (a), (b), (c) の順に接触抵抗が改善され, (c) の試料では完全なオーミックコンタクトが得られている. ホール測定により求めたこの試料の正孔濃度 (p) は $5.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である. 一方, MBE 法において窒素プラズマを用いてドーピングを行って作製した Au/p 型 ZnSe: N と Au/p 型 ZnS_{0.04}Se_{0.96}: N の I - V 特性を図 2 に示す⁹⁾.

図には 75 V-80 μ s, 120 Hz の交流パルス印加後の特性を示す. C-V 測定により求めたそれぞれの実効アクセプタ濃度 ($N_a - N_d$) は $1.9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $2.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ である. このような比較的良好的なコンタクトは MOMBE では $2 \times 10^{15} \sim 5.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の正孔濃度の範囲で, また MBE では実効アクセプタ濃度が $2.8 \times 10^{16} \sim 7.6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の範囲にわたって観測される. Au から ZnSe への正孔の注入は逆バイアス電圧の印加により引き起こ

される. ドーピング濃度が低い場合には, 接触抵抗は $\exp(\phi_B/kT)$ に比例し, 一方ドーピング濃度が高い場合にはトンネリング過程が支配的となり, $\exp(\phi_B/N^{1/2})$ に比例する. ここで ϕ_B はショットキー障壁の大きさ, N はキャリア濃度である. Au と ZnSe の間には 1.25 eV のショットキー障壁があるため¹⁸⁾, オーミック接合を得るには 10^{19} cm^{-3} 以上のキャリア濃度が必要と見積もられる. 図 1, 図 2 の実験事実は高濃度ドーピングの効果とショットキー障壁 (ϕ_B) との両方に起因することを示唆している. 同様の現象は 3M のグループによっても観測されている¹³⁾. この現象に対して, 高濃度ドーピングにより薄くなった空乏層とショットキー障壁層界面に形成された欠陥準位を介して, トンネル効果により正孔が注入される機構が考えられるが, 今後詳しい検討が必要である.

3. p 型 ZnSSe: N の電気特性

アンモニアを用いた MOMBE による窒素ドーピング

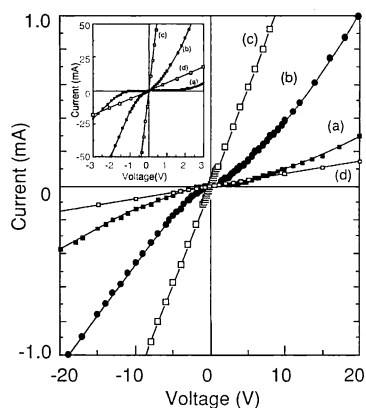


図 1 MOMBE 法で作製した p 型 ZnSe ($p=5.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) と Au 電極とのコンタクトの電流-電圧特性: (a) 室温で Au を蒸着した後に処理を加えていない試料, (b) 75 V-80 μ s, 120 Hz パルス印加後の試料, (c) 300°C, 5 分加熱後の試料, (d) MOMBE 法で作製した p 型 ZnSe ($p=1.2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) の電流-電圧特性. 300°C, 5 分加熱後の試料.

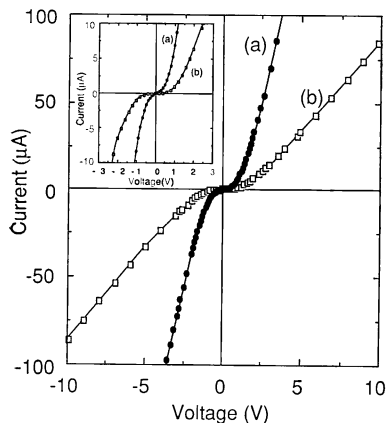


図 2

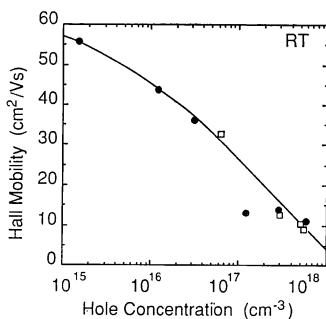


図 3

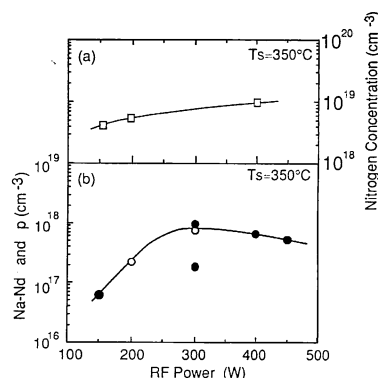


図 4

図 2 MBE で作製した p 型 ZnSe (a) および p 型 ZnS_{0.04}Se_{0.96} (b) と Au 電極とのコンタクトの電流-電圧特性。図 3 正孔濃度とホール移動度との相関 (室温) : (●) MOMBE で作製した p 型 ZnSe, (□) MBE で作製した p 型 ZnSe。図 4 p 型 ZnSe の窒素濃度 (a) とキャリア濃度 (b) の RF パワー依存性 : (●) 実効アクセプタ濃度, (○) 正孔濃度。

は基板温度の依存性が大きい¹⁴⁾。この原因は, DMZn, H₂Se, NH₃ のそれぞれの間の化学反応性, 付着係数, Zn と Se との化学量論組成, ドナー性不純物の取込みやすさ等に対する基板温度依存性のためと考えられる。MOMBE で作製した ZnSe : N の室温下で測定した正孔濃度とホール移動度の相関を, MBE で作製した試料とともに図 3 に示す。窒素プラズマを用いた MBE では, ドーピングに対する基板温度, 窒素プラズマの強度 (P_{N_2}), RF パワーの依存性等が調べられている^{9,13)}。一例として, 基板温度 350°C, $P_{N_2}=3.0 \times 10^{-7}$ Torr 一定下における, $[N]$ と実効アクセプタ濃度および正孔濃度の RF パワー依存性を図 4 に示す。300 W 時に最大となり, $N_a-N_d=7.6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の値が得られている⁹⁾ Hall 移動度の正孔濃度依存性も図 4 に併せて示す。MOMBE 法と MBE 法とで, ともに作製した膜は同様の相関を持ち, 移動度は, 正孔濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ では $57 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ では $4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であった。また窒素の活性化率を比較すると, MOMBE で作製した試料では窒素濃度 $[N]=7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のとき約 7% であり, MBE では同一窒素濃度時に約 11% であった。これらの値は, 同一窒素濃度では従来報告されている値の数倍の大きさである¹⁹⁾。

4. む す び

アンモニアをドーパントに用いた MOMBE と窒素プラズマを用いた MBE のそれぞれの手法で作製した p 型 ZnSSe : N の Au 電極特性および N-ドーピング特性について述べた。近い将来に実用レベルの青緑色半導体レーザーが実現されることを期待したい。

文 献

- 1) R.M. Park, M.B. Troffer, C.M. Rouleau, J.M. DePuydt and M.A. Haase: Appl. Phys. Lett., **57** (1990) 2127.
- 2) M.A. Haase, J. Qiu, J.M. DePuydt and H. Cheng: Appl. Phys. Lett., **59** (1991) 1272.
- 3) H. Jeon, J. Ding, W. Patterson, A.V. Nurmikko, W. Xie, D.C. Grillo, M. Kobayashi and R.L. Gunshor: Appl. Phys. Lett., **59** (1991) 3619.
- 4) D.J. Olego: 1992 March Meeting American Physical Society, Indianapolis, IN (1992).
- 5) S. Hayashi, A. Tsujima, S. Yoshii, K. Ohkawa and T. Mitsuyu: Jpn. J. Appl. Phys., **31** (1992) L1478.
- 6) S.Y. Wang, I. Hauksson, J. Simpson, H. Stewart, S.J.A. Adams, J.M. Wallace, Y. Kawakami, K.A. Pior and B.C. Cavenett: Appl. Phys. Lett., **61** (1992) 506.
- 7) H. Okuyama, T. Miyajima, Y. Morinaga, F. Hiei, M. Ozawa and K. Akimoto: Electron Lett., **28** (1992) 19.
- 8) Y. Kawaguchi, T. Ohno and T. Matsuoka: Extended Abstr. of the 1992 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tsukuba (1992) p. 345.
- 9) M. Migita, A. Taike, M. Momose and J. Gotoh: Abstr. of the 6th Int. Conf. of II-VI Compounds and Related Optoelectronic Materials, Newport (1993) to be published.
- 10) H. Kukimoto: J. Cryst. Growth, **101** (1990) 953.
- 11) K. Yanashima, K. Koyanagi, J. Hara, J. Yoshino and H. Kukimoto: J. Cryst. Growth, **124** (1992) 616.
- 12) S. Fujita, T. Asano, K. Maehara and S. Fujita: Abstr. of Electronic Materials Conference, H7 (1993) p. A18.
- 13) J. Qiu, H. Cheng, J.M. DePuydt and M.A. Haase: J. Cryst. Growth, **127** (1993) 279.
- 14) A. Taike, M. Migita and H. Yamamoto: Appl. Phys. Lett., **56** (1990) 1989.
- 15) M. Migita, A. Taike and H. Yamamoto: J. Cryst. Growth, **101** (1990) 835.
- 16) M. Migita, A. Taike and H. Yamamoto: J. Cryst. Growth, **111** (1991) 776.
- 17) M. Migita, A. Taike and H. Yamamoto: J. Appl. Phys., **68** (1990) 880.
- 18) F. Xu, M. Vos, J.H. Weaver and H. Cheng: Phys. Rev. B, **38** (1988) 13418.
- 19) K. Ohkawa, A. Tsujimura, S. Hayashi, S. Yoshii and T. Mitsuyu: Extended Abstr. of the 1992 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tsukuba (1992) p. 330.

(1993年8月9日受理)