

# 和文タイトル：材料学会 $\text{\LaTeX}$ テンプレート Ver 1.1<sup>†</sup>

材料 一郎\* 材料 次郎\*\* 材料 三郎\*  
材料 四郎\*\* 材料 五郎\*\*\*

## A Sample of Manuscript of Submitted Paper to Journal of the Society of Materials Science, Japan

by

Ichiro ZAIRYO\*, Jiro ZAIRYO\*\*, Saburo ZAIRYO\*\*,  
Shiro ZAIRYO\*\*, Goro ZAIRYO\*\*\*

Wide-bandgap semiconductor ZnO potentially exhibits high radiation hardness since large displacement threshold energy of constituent atoms can be expected due to the small lattice constant and large bandgap energy. To study the radiation hardness, the effect of proton irradiation on single-crystalline *n*-type ZnO films was examined. These films were grown by molecular beam epitaxy, and irradiated by 8 MeV protons with fluences of  $1.4 \times 10^{15}$ ,  $2.8 \times 10^{15}$ ,  $5.6 \times 10^{15}$  and  $1.4 \times 10^{16}$  p/cm<sup>2</sup>. A rapid increase of electrical resistance by a decrease of carrier density was observed with a threshold fluence of about  $1 \times 10^{15}$  p/cm<sup>2</sup>. This change in electrical properties was associated with a steep deterioration of the near-bandedge emission intensity in cathodoluminescence. These radiation damages were found to recover after a thermal annealing over 600°C. Such high radiation hardness of ZnO exceeds that of GaN, indicating promising application of this material to space- and nuclear-electronics.

### Key words:

ZnO, 8 MeV protons, Radiation damage, Radiation hardness, Thermal annealing, xxx  
xxx xxxxx, xxxxxxxx, xxx, xxxxxxx xxxxx

## 1 緒 言

日本材料学会会誌「材料」に投稿できる原稿は、投稿規定 6. に定める論文、資料、総説、講座、解説、国内外トピックス、委員会報告、巻頭言、討論、会員便りのいずれかである。

論文はその内容が一般に公表されている国内外の印刷物に未投稿のものであって、理論、実験等に誤りがなく、材料学に関して独創的な研究で、価値ある結論あるいは事実を含むものでなければならない。

それぞれの原稿は、A4 用紙に 25 字× 51 行× 2 段＝2550 字、横書き（刷上がり 1 ページに相当）に執筆する。所定の投稿申込用紙と、「投稿原稿見本」に従って作成した投稿原稿の PDF ファイルを本会編集委員会宛に提出する。正原稿は編集委員会において掲載可が決定され本会より提出の依頼があるまで著者が保管する。

### 1.1 原稿の執筆上の注意

原稿の書き方は、投稿規程および原稿執筆上の規約に従う必要があるが、第 1 ページおよび図などは本ページに示す見本を参照するとよい。左右に 21mm、上 23mm、下 18mm のマージンをとる。本文は 2 段組としコラム幅は 80mm、コラム間隔を 10mm とする。論文および資料

の場合、次の事項を番号順に必ず記載する。(1) 和文題名 (15 ㍴ イット)、(2) 和文著者名 (11 ㍴ イット)、(3) 英文題名 (13 ㍴ イット)、(4) 英文著者名 (10.5 ㍴ イット)、(5) 英文要旨 (9.5 ㍴ イット)、(6) 英文キーワード (9.5 ㍴ イット)。また、最下段に本文との間に線を入れて (7) 和文の会員種別・所属・所在地、英文の所属・所在地を記載する。その他の原稿では記載事項が異なるので原稿執筆上の規約を参照すること。

本文 (9 ㍴ イット) は、見本のように上記 (1)～(6) を記述した後に、1 行空けて書き始める。

図、表および写真は、論文、資料、委員会報告については、見本のように用紙にそのまま貼り込める大きさに留意し、本文中の説明と離れない位置に貼り付ける。図・表どうし、あるいは図、表と本文は 1 行以上間隔をあけるようにする。カラー写真掲載希望の場合は、編集委員会でその必要性が認められた場合に限り掲載することができるが、それに係わる経費は著者負担である。

<sup>†</sup> 原稿受理 平成 年 月 日 Received

©2011 The Society of Materials Science, Japan

\* 正会員 京都大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻 〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂

Department of Mechanical Engineering and Science, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Kyoto-Daigaku-Katsura, Nishikyo-ku, Kyoto 615-8540.

\*\* 九州工業大学大学院 情報工学研究科 情報システム専攻 〒 820-8502 福岡県飯塚市川津

Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology, Kawazu, Iizuka, Fukuoka 820-8502.

\*\*\* 大阪大学大学院 工学研究科 知能・機能創成工学専攻 〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 2 番 1 号

Department of Adaptive Machine Systems, Graduate School of Engineering, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871.

## 2 ABC 照射試料の準備

分子線エビタキシー (MBE) 装置を用いて Fig. 1 に示すノンドープの単結晶 ZnO 薄膜を作製した。まず、A 面サファイア基板上に 15 nm の  $\text{Zn}_{0.85}\text{Mg}_{0.15}\text{O}$  薄膜を 300°C で成膜した。真空中で 800°C・30 分間の熱処理を経て、

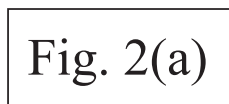
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left( \frac{Z_1 Z_2 e^2}{8\pi\epsilon_0 M_1 \nu^2} \right)^2 \text{cosec}^4 \frac{\theta}{2} \quad (1)$$



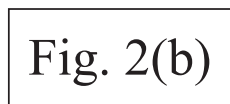
Fig. 1 Schematic diagram of a sample structure.

Table 1 Electrical properties of a single-crystalline ZnO film.

|       | Resistivity<br>( $\Omega$ ) | Hall mobility<br>( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ ) | Carrier density<br>( $\text{cm}^{-3}$ ) |
|-------|-----------------------------|--|---|
| 300 K | 0.107                       | 103  | $5.64 \times 10^{-17}$                  |
| 700 K | 0.273                       | 302  | $7.57 \times 10^{-16}$                  |



(a) Left figure



(b) Right figure

Fig. 2 Schematic diagram of an experimental setup of 8 MeV proton beam irradiation.

## 3 スタイルファイル jsms2014v1.sty について

材料のフォーマットに合うように、以下の指定を行っています。

- 冒頭部分でマージン設定 (本サンプルの作成環境 (Windows7, WinShell) で、Web 掲載の「材料学会 Word テンプレート Ver1.0」とほぼ同じ配置で出力されるように調整している。環境により微調整が必要となることが多いので紙出力した上で適宜調整して下さい。)
- 脚注 (footnote) の線の指定
- 章、説のフォントの指定
- 図、表のキャプションのフォーマットを指定 ([表 \ref{table1}] など本文中で引用する。)
- 文献番号が 1) という形となるように指定 ([\cite{アイテム名}] で本文中で引用する。)
- 章、説の見出しのフォーマット指定

- 参考文献のタイトルを、文字間隔を空けてセンタリングして出力するように指定
- 文献のフォントサイズなどを指定
- その他のスタイル調整等は、本サンプルファイル中で行っている。

## 4 jsms-sample-2014v1-1.tex について

本ファイルを適宜書き換えて使用してください。以下、注意点や使用方法に関する記述です。

- 著者名とフッター部分の所属先の記述に使用している「\*」記号などは、自動には対応していません。著者名の記述部分と、フッターの記述部分とで、手動で対応を付けてください。
- 図の挿入と配置は、figure 環境を用いることにより図の番号を自動で付番することができます。ただし、システムが全体の配置を判断した上で最も適した場所 (TeX のコンパイラがそう判断するという意味です) に配置してしまいます。これを、できるだけ記述した箇所のところに配置するために、[H] というオプションを付けています。

- figure 環境による図の配置でどうしてもうまくいかない場合は、手動で図を挿入し、図番号やキャプションも手動で書くという方法があります。例えば

```
\begin{center}
\includegraphics[keepaspectratio, width=50mm]
{images/Fig1.eps}
%
%
%noindent
{\fontsize{8pt}{0pt}\selectfont
Fig.1 Example
}
\end{center}
```

と記述することにより、記述箇所に強制的に図が入ります。ただし、この場合図とキャプションの間に改ページが入ってしまったたり、図の途中に改ページ部が来た場合には不釣り合いな空白が入って次のページに図がまわってしまうなどの問題もあります (figure 環境を使えば、こういったことは起きません)。また、相互参照により図の番号を呼ぶことができなくなります。

- 参考文献は、thebibliography 環境で記述するようにしてあります。この記述スタイルでは、列挙した順番に自動的に 1 から順番に番号が符されます。
- 数式は、equation 環境を少し変形させた jsmseq 環境をマクロで定義してあります。これは、式番号の右にわずかながら空白を入れるためです。equation 環境とほぼ同じように使うことができます。
- コンパイルを行うと、フォントサイズに関する警告が非常にたくさん出されます。確認した限りでは、フォントがない場合でも代替フォントでほぼ指定のサイズの文字が出るようになっていていると思

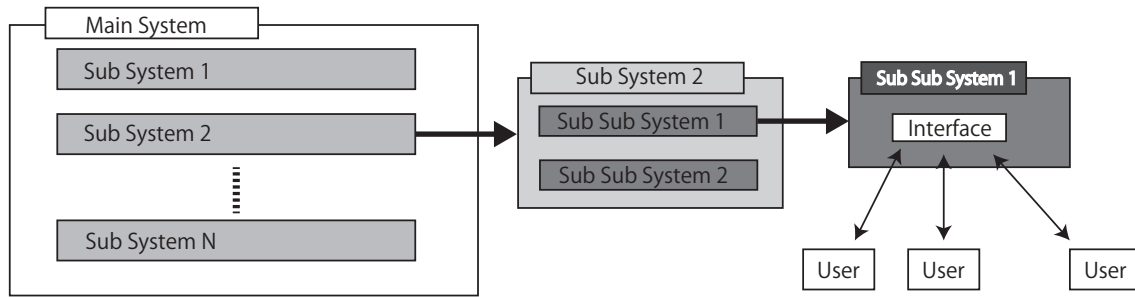


Fig. 3 Very long sideways figure using two columns.

われます。新たにフォントをインストールするな  
どすれば、このあたりの警告は出ないようにでき  
るのではないかと思います。

#### 参 考 文 献

- 1) K. Ohnishi and S. Matsuda, "Radiation effects on semiconductor devices: Recent trends of research works", *Journal of the Institute of Electronics and Communication Engineers of Japan*, Vol.85, No.9, pp.662-669 (2002).
- 2) S. Gonda, H. Tsutsumi, Y. Ito, T. Mukai and S. Nagahama, "Proton radiation effects in nitride lasers and light emitting diodes", *Physica Status Solidi (a)*, Vol.204, Issue 1, pp.231-235 (2006).
- 3) J. W. Corbett and J. C. Bourgoin, in "Point defects in solids", Eds. J. H. Crawford and L. M. Slifkin, p.136 (1975) Plenum Press.
- 4) J. H. Warner, R. J. Walters, S. R. Messenger, G. P. Summers, S. M. Khanna, D. Estan, L. S. Erhardt and A. Houdayer, "High-energy proton irradiation effects in GaAs devices", *IEEE Transaction on Nuclear Science*, Vol.51, No.5, pp.2887-2895 (2004).
- 5) S. Gonda, "Radiation hardness of InGaAsP semiconductor lasers", *International conference on InP and Related Materials (IPRM)*, WeP29, Versailles France, 2008 May.
- 6) A. Hallen, M. Nawaz, C. Zaring, M. Usman, M. Domeij and M. Ostling, "Low-temperature annealing of radiation-induced degradation 4H-SiC bipolar junction transistors", *IEEE Electron Device Letters*, Vol.31, No.7, pp.707-709 (2010).
- 7) S. M. Khanna, D. Estan, L. S. Erhardt, A. Houdayer, C. Carlone, A. I. Nedelcescu, S. R. Messenger, R. J. Walters, G. P. Summers, J. H. Warner and I. Jun, "Proton energy dependence of the light output in gallium nitride light-emitting diodes", *IEEE Transac-*
- tion on Nuclear Science, Vol.51, No.5, pp.2729-2735 (2004).
- 8) M. Nakano, T. Makino, A. Tsukazaki, K. Ueno, A. Ohtomo, T. Fukumura, H. Yuji, Y. Nishimoto, S. Akasaka, D. Takamizu, K. Nakahara, T. Tanabe, A. Kamisawa and M. Kawasaki, "MgxZn1-xO-based schottky photodiode for highly color-selective ultraviolet light detection", *Applied Physics Express*, Vol.1, No.12, pp.121201-1-121201-3 (2008).
- 9) K. Nakahara, S. Akasaka, H. Yuji, K. Tamura, T. Fujii, Y. Nishimoto, D. Takamizu, A. Sasaki, T. Tanabe, H. Takasu, H. Amaike, T. Onuma, S. F. Chichibu, A. Tsukazaki, A. Ohtomo and M. Kawasaki, "Nitrogen doped Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O/ZnO single heterostructure ultraviolet light-emitting diodes on ZnO substrates", *Applied Physics Letters*, Vol.97, No.1, pp.013501-1-013501-3 (2010).
- 10) S. Sasa, T. Hayafuji, M. Kawasaki, K. Koike, M. Yano and M. Inoue, "Improved stability of high-performance ZnO/ZnMgO hetero-MISFETs", *IEEE Electron Device Letters*, Vol.28, No.7, pp.543-545 (2007).
- 11) E.g., "Recent development of thin film compound semiconductor photovoltaic cells", Ed. T. Wada (2007) CMC Press.
- 12) S. O. Kucheyev, P. N. K. Deenapanray, C. Jagadish, J. S. Williams, M. Yano, K. Koike, S. Sasa and M. Inoue, "Electrical isolation of ZnO by ion bombardment", *Applied Physics Letters*, Vol.81, No.18, pp.3350-3352 (2002).
- 13) S. M. Khanna, J. Webb, H. Tang, A. J. Houdayer and C. Carlone, "2 MeV proton radiation damage studies of gallium nitride films through low temperature photoluminescence spectroscopy measurement", *IEEE Transaction on Nuclear Science*, Vol.47, No.6, pp.2322-2328 (2000).
- 14) SRIM simulation, <http://www.srim.org/>