シンクロトロン光を用いたワイドギャップ化合物半導体の評価

郭 其新

佐賀大学シンクロトロン光応用研究センター

物質には電気を通す導体と、電気を通さない絶縁体とがあり、半導体はその中間の性質を備 えた物質で、トランジスタ等で構成される集積回路を総称したものを示すことも多くあり、 我々の現代生活に欠かせない存在となっている。電子やホールが価電子帯から伝導帯に遷移す るために必要なエネルギーをバンドギャップと言い、通常のシリコンは 1.1eV(エレクトロンボ ルト)であるが、ワイドギャップ化合物半導体は 2~3eV 以上の大きなバンドギャップを有する 半導体であり、格子定数が小さく、原子間の結合力が大きいため、絶縁破壊強度などが高くな る。例えば、窒化ガリウムはバンドギャップが 3.4eV、絶縁破壊電界強度は Si の 3×10⁵ に対し、 3×10⁶ と非常に大きな値になっており、電圧に耐えうる性能が、Si の 10 倍も高いため、同じ性 能を持った部品を、Si の 10 倍薄く作ることができる。そのため、電気を流したときの抵抗が 小さくなり、エネルギー損失が約 1/10 になることから、大きな省エネ効果が期待されている。

低損失パワーデバイスや高効率タンデム型太陽電池等、次世代光・電子デバイスへの応用が 期待される窒化ガリウムおよび酸化ガリウム等のワイドギャップ半導体は、インジウムやアル ミを添加し混晶化することでバンドギャップエンジニアリングが可能で、このような混晶半導 体薄膜を全組成領域で比較的簡便に成膜できる手法が必要不可欠である。本研究では、反応性 マグネトロンスパッタリング法およびパルスレーザー堆積法における低温プロセスの適用を 提案し、インジウム添加に対する有用性を実証し、下図のようにシンクロトロン光 X 線吸収端 構造解析による構造と組成の非破壊的同定に関する研究を進めている。講演では、シンクロト ロン光を用いた光電子分光法等による電子構造と光物性などの評価についても紹介する。



Guo *et al.*, Electronic structure of GaInN semiconductors investigated by x-ray absorption spectroscopy, Applied Physics Letters, 98, 181901-1-3, 2011.



ト導体の種類	主要なリイトハントキャッノキ導体の物性値の比較
 ▶ 元素半導体 Si, Ge, C (Diamond) ▶ 化合物半導体 	 Si, GaAs, GaP: Relatively narrow bandgap of less than 2.3 eV 4H-SiC, ZnO, GaN: Wide bandgap of about 3.4 eV Ga₂O₃, Diamond, AlN, MgO, : Ultrawide bandgap of wider that
III-V: GaAs, InAs, GaInAs, AlGaAs, AlInAs GaP, InP, GaInP, AlGaInP. GaInAsP GaN, AIN, InN, BN, GaInN, AlGaN, AlInN	Materials parameters Si Ga/s Gal? 411-55C ZnO Gal Ga/s,O ₃ Diamond A Bandgaps E_s(4) 1.1 1.41 2.27 3.3 3.3 3.4 4.2-6.3 5.5 6 10 100 200 1200 100 200 1200 100 200 1200 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100
II-VI: ZnSe, ZnTe IV—IV: SiC	$\operatorname{Image}(\operatorname{crig})$ 1 853 8 2.59 - 870 344 24661 2 Guo <i>et al.</i> , Review of Ga ₂ O ₃ -based optoelectronic devices, Materials Today Physics 11, 1001 2019. バンドギャップ ↑ → 格子定数 ↓ → 原子間の結合力 ↑
酸化物半導体:ZnO, Ga ₂ O ₃	→ 絶縁破壊強度



Epitaxial growth of InN by Microwave –excited MOVPE 16 Guo et al., J. Appl. Phys. 75, 4927, (1994) Guo et al., Appl. Phys. Lett. 66, 715, (1995) **Mag** 30 40 50 60 70 2^D (4+4) HU. 1. The XBD prefix of the IoN Mm. Only two peaks from (0002) and 100004 IoN are observed except for 00004 influence from from the $\alpha{-}M_2D_2$ IN 40 78 78 4 TIG. 4. XPS sp min; (a) surface

Si: 0.3 GaN: 3.3 Siの10倍薄くできる

エネルギー損失が約1/10になる

f wider than 3.4 eV

6.2 135 7.8

9.9 8.5 3.2

2466 ysics 11, 100157,





















LEDが放出する光の色とエネルギー









Guo et al., Thin Solid Films 639, 123 (2017).	Summary
<text><text><section-header><text><section-header><text><text><text><text><text><text><text><text><text><text><text><text><text><text></text></text></text></text></text></text></text></text></text></text></text></text></text></text></section-header></text></section-header></text></text>	 Wide bandgap semiconductors are promising for applications in solid state lighting and next-generation power electronic devices. Characterization by using synchrotron light is powerful for revealing structural, electronic, and optical properties of advanced thin films.