

SiC 基板の偏光観察における欠陥コントラスト生成メカニズム

Mechanism of defect contrast formation in SiC wafers by polarized light microscopy observation

名古屋大¹, Mipox 株式会社² ○原田 俊太¹, 村山 健太²

Nagoya Univ.¹, Mipox Corporation² ○Shunta Harada¹, Kenta Murayama²

E-mail: shunta.harada@nagoya-u.jp

複屈折現象を利用した偏光観察は、結晶成長や鉱物理学の分野において古くから用いられているが^{1,2}、最近の研究で SiC や GaN 基板中の転位を観察できることが報告されており^{3,4}、無転位であることを前提とできる Si 基板とは異なり、ある程度の欠陥が含まれることを前提としてデバイスを作製する必要がある次世代パワーデバイス基板の高速・非破壊検査手法として注目を集めている。本研究では、光学異方性を加味した偏光強度の理論的な検討を行うことにより、SiC 基板の偏光観察におけるコントラスト生成メカニズムを解明することを目的とした。

パワーデバイス用 SiC 基板は(0001)面から[11-20]に 4 度オフ角が設けられており、基板の面内において光学的に異方性を含む。基板に垂直な観察方向に平行に Z 軸をとり、オフ角と垂直である面内の[1-100]を X 軸、それに垂直な方向を Y 軸とすると面内の屈折率楕円体の方程式は、 $B_1^0 X^2 + B_2^0 Y^2 + 2B_6^0 XY = 1$ と表される。ただし、 $B_1^0 = n_n^{-2}$, $B_2^0 = n_e^{-2}$, $B_6^0 = 0$ であり、 n_n, n_e は、通常光、異常光の屈折率である。ここに、貫通転位などによって応力が印可されると、屈折率楕円体の方程式は $B_1 X^2 + B_2 Y^2 + 2B_6 XY = 1$ となる。ただし、 $B_m = B_m^0 + \Pi_{mn} \sigma_n$ ($m = 1, 2, 6$) であり、 Π_{mn} , σ_n は光弾性テンソル、応力テンソルである。ここでは簡略化のために、欠陥による応力は Z 方向において均一である仮定する。応力が印可された結晶における屈折率は下記の固有方程式

$$\begin{vmatrix} B_1 - \frac{1}{n^2} & B_6 \\ B_6 & B_2 - \frac{1}{n^2} \end{vmatrix} = 0 \text{ の解として求まる。レタデーション } \delta \text{ は、これら二つの屈折率の差に比例}$$

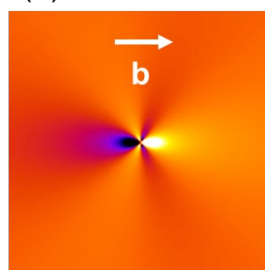
し、 $\delta = \frac{\pi B_{ave}^{-\frac{3}{2}}}{\lambda} [(B_2 - B_1)^2 + 4B_6^2]^{\frac{1}{2}} \Delta l$ と表すことができる。ここで、 Δl は基板の厚さ、 B_{ave} は B_1 と B_2 の相加平均である。また、光学主軸方向と X 軸のなす角 α は、 $2\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{2B_6}{B_2 - B_1} \right)$ を満たす。

ここで、偏光子の偏光方向と X 軸のなす角を β 、偏光子と検光子の偏光方向のなす角を $\frac{\pi}{2} + \gamma$ とし、偏光子のずれ β と、検光子の直交ニコルからのずれ γ がある場合を考える。この場合、入射強度を I_0 とすると、偏光強度は、 $I = I_0 \left\{ \sin^2 \gamma + \sin 2(\beta + \alpha) \sin 2(\beta + \alpha - \gamma) \sin^2 \frac{\delta}{2} \right\}$ と表される。簡単のために、偏光子の消光角からのずれが無視できるほど小さい場合を考える。光弾性による屈折率の変化が十分に小さいと仮定すると、 $B_2 - B_1 \cong B_2^0 - B_1^0$ であり、 $B_2^0 - B_1^0 \gg B_6^0$ であるので、二次の微小量が無視すると、偏光強度は、 $I = I_0 \left\{ \sin^2 \gamma + (B_6(B_2^0 - B_1^0) \sin 2\epsilon) \frac{\pi^2 \Delta l^2}{B_{ave}^3 \lambda^2} \right\}$ と表すことができる。右辺第一項は応力によらず一定の値を示し、第二項は B_6 すなわち、面内のせん断応力 σ_6 に比例する。つまり、欠陥などによる局所的な応力分布がある場合、面内のせん断応力分布に対応するコントラストが生成する。また、ここでは詳細は省くが、偏光子の消光角からのずれがある場合にも、同様の結果が得られる。

貫通刃状転位の偏光観察像と面内せん断応力分布を比較すると Fig. 1 に示す通り、よく一致しており、SiC 基板の偏光観察において、偏光子や検光子を直交ニコルからずらすことによって、面内のせん断応力分布に対応する像が得られることが明らかとなった。

【参考文献】 [1] B. K. Tanner and D. J. Fathes *Philos. Mag.* **29** (1974) 1081–1094. [2] C. Ge, et al. *J. Appl. Phys.* **69** (1998) 7556. [3] A. Kawata et al. *Jpn. J. Appl. Phys.* **60** (2021) SBB06. [4] A. Tanaka et al. *Phys. Status Solidi (b)* **257** (2019) 1900553.

(a) shear stress



(b) exp.

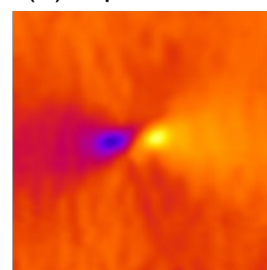


Fig. 1 貫通刃状転位の(a)面内せん断応力分布と(b)偏光観察像の比較。