

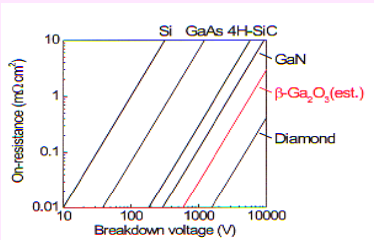
# EFG法による柱状 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>結晶成長

## Columnar-shaped $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Crystal Growth by Edge-defined, Film-fed Growth Technique

田中天童、長岡美津也(日新技研(株))、干川圭吾(信州大学)

[tanaka@nissin-giken.co.jp](mailto:tanaka@nissin-giken.co.jp) [khoshi1@shinshu-u.ac.jp](mailto:khoshi1@shinshu-u.ac.jp)

### 先進パワー半導体材料としての $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>結晶



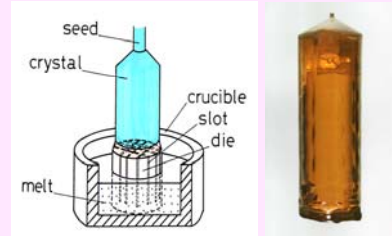
M.Higashiwaki et al., APL 100, 013504(2012)

### $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の単結晶育成方法と特徴

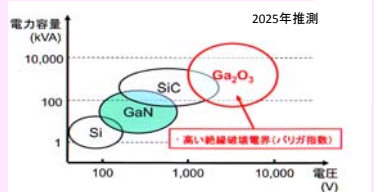
- FZ法**
  - ・るつぼなし
  - ・ランプ加熱
  - ・大真空中
  - ・大形化困難
  - ・内部歪み大
- CZ法**
  - ・Irるつぼ
  - ・高周波加熱
  - ・不活性雰囲気
  - ・るつぼの蒸発
  - ・融液の分解
- EFG法**
  - ・EFG結晶は市販(タムラ製作所)

### EFG法 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶成長の課題

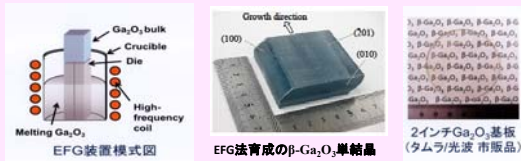
EFG (Edge-defines, Film-fed Growth) 法による、  
(1) 円柱状結晶育成は出来ないか?  
(2) As-grown 結晶の特性はどうか?



EFG-TiO<sub>2</sub>結晶で、円柱状単結晶育成の報告例  
H.Machida et al., JCG, 137(1994)516

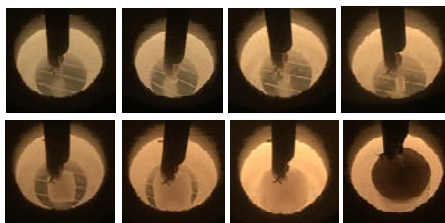


東協正高: 第1869回電子ジャーナル技術セミナー-2013.09.11

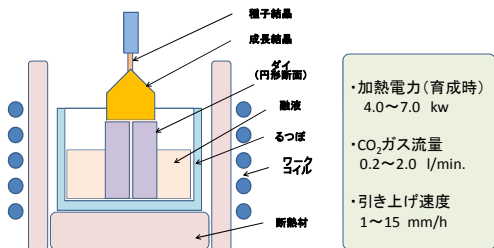


S. Watanabe et al., The 1<sup>st</sup> IWGO, Nov. 3-6, Kyoto Japan

### EFG法 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>結晶成長プロセスの観察



### EFG法結晶炉内構造と主な育成条件



### 結晶育成中のIrるつぼ、Irダイの消失量

育成条件A(ホットゾーンA、CO<sub>2</sub>ガス流量:0.2~0.5slm)  
 ・るつぼ(全重量204.1g)の減量: ≈0.054g/h  
 ・ダイ(全重量163.95g)の減量: ≈0.001g/h

育成条件B(ホットゾーンB、CO<sub>2</sub>ガス流量:0.5~2slm)  
 ・るつぼ(全重量158.27g)の減量: ≈0.026g/h  
 ・ダイ(全重量164.7g)の減量: ≈0.001g/h

### EFG法による円柱結晶成長の特徴(1)



### $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶育成のための種子結晶



大きな成長速度異方性と強い劈開性を利用すれば、種子結晶の取得は比較的容易

### 結晶方位同定結果(2)



### 結晶方位同定結果(1)

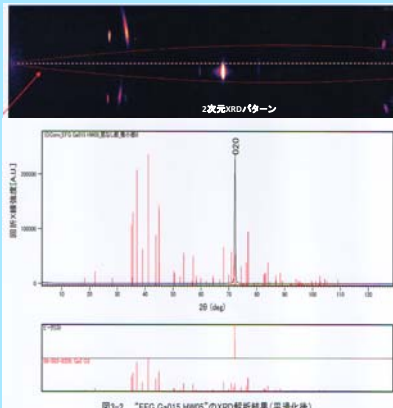
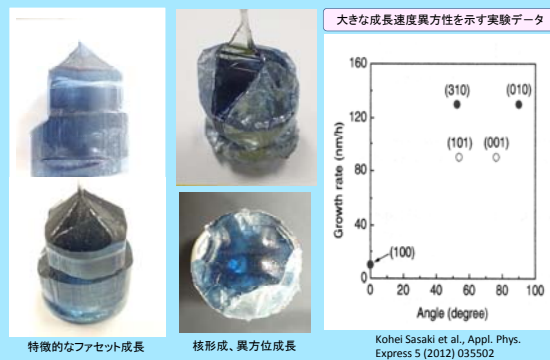


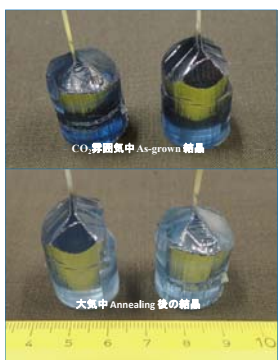
図3-2 "EFG Ga015 HM05"のXRD解析結果(平滑化後)

### EFG法による円柱結晶成長の特徴(2)



Kohel Sasaki et al., Appl. Phys. Express 5 (2012) 035502

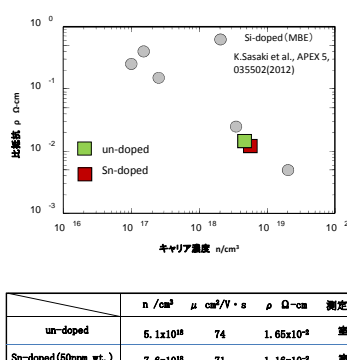
### As-grown と Annealing 後の結晶の色変化



### EFG法 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>結晶中の不純物分析結果

試料名	Un-doped ppm wt.	試料名	Sn-doped ppm wt.
Na	0.23	Na	0.05
Mg	0.19	Mg	0.25
Al	4.1	Al	1.5
Si	30	Si	27
Ca	.039	Ca	0.38
Fe	1.5	Fe	0.43
Zr	17	Zr	2.4
Sn	<0.1	Sn	49
Ir	3.3	Ir	4.3
Rh	0.05	Rh	0.04
Pt	0.04	Pt	0.04

### EFG法 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の半導体特性(現状)



### まとめ

- ◆上端が円形断面形状のダイを用いて、円柱状 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶成長に成功した。
- ◆ホットゾーン構造、炉内雰囲気(CO<sub>2</sub>ガス)条件の適正化により、Irるつぼ、Irダイの消失量を低減した。
- ◆ $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の大きな成長速度異方性、劈開性を利用して、単結晶種子の取得、方位制御単結晶成長を可能にした。
- ◆Sn-doped育成で、n型低抵抗結晶の実現を確認した。