

小林正和研究室

我々の研究室では

- ・格子不整合基板上への高品質 ZnTe ヘテロエピタキシー技術の開発、導波路型デバイスの応用に関する研究
- ・ナノ微粒子の作製に関する研究
- ・新規太陽電池用材料の開発

を行っている。

今年度に行った研究のうち ZnTe ヘテロエピタキシー技術の開発に関する内容について以下に述べる。

過去の研究で様々な面方位のサファイア基板に対して ZnTe 薄膜の成長を行い配向のメカニズムについて研究を行ってきた。しかし ZnTe (110) が無極性面であるという理由から (110) 配向の薄膜作製が困難であった。そこで近年サファイア m (1-100) 面基板を高温 (1200~1600℃) で熱処理することによって生成される r, S ナノファセット基板に注目した。r, S ナノファセットとは r (1-102) 面と S (1-10-1) の 2 種類の面が連続的かつ周期的に表出する山状の構造を持った基板である。図 1 に r, S ナノファセットの構造を示す。更に図 2 に ZnTe の原子配列を示す。ZnTe (111) 面の法線と ZnTe (110) の法線を点線で描いているが、それらのなす角は 35.26° である。過去の研究からサファイア S 面に ZnTe (111) 単一ドメインの薄膜の作製に成功してきた。これらを踏まえて 35.26°-17.60°=17.66° 傾斜をつけた、ナノファセット S ナノファセット面基板表面に ZnTe (111) 単一ドメインの成長を起こすことによって、図 1.3 のようにサファイア基板表面に ZnTe (110) 薄膜の作製が可能であると考えた。

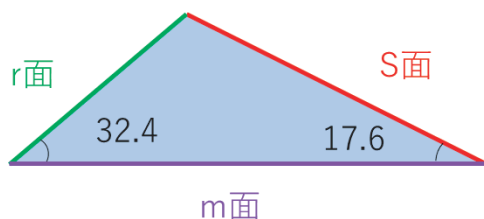
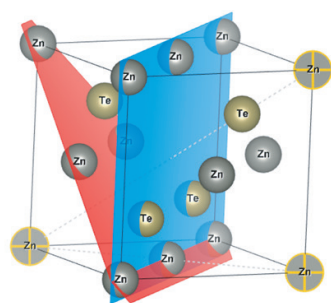


図1 サファイア r, S 面ナノファセット基板の模式図



青: (110) 赤: (111)
図2 VESTAにより作成したZnTeの原子配列

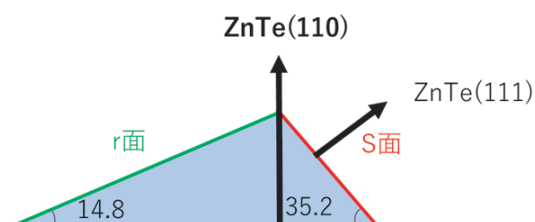


図3 17.66°傾斜をつけた r, S ナノファセット基板

しかしオフ角を有した r, S ナノファセット面を有したサファイア基板に ZnTe 薄膜を成長したところ、S ナノファセット面上に 2 種類の ZnTe (111) が配向してしまい結晶性の改善が必要になった。

本研究ではサファイア基板の熱処理温度は 1400℃ で一定とし、熱処理時間を変えたナノファセット構造をもつサファイア基板を準備し、それらに対して ZnTe の初期成長のみで結晶作製を終了することを検討した。初期成長段階において形成される成長核の観察を行いナノファセット構造におけるナノファセットの高さ・均一性と成長核がナノファセットの r 面、S 面にどの程度形成されるかの評価と考察を行った。今回の実験で行った基板熱処理条件は表 1 の通りである。

表1 今回の人権で使用した熱処理条件

(a)	1400℃ 20h
(b)	1400℃ 40h

本実験では 1400℃ 20h で基板熱処理を施した基板上に成長核を形成したサンプルと 1400℃ 40h で基板熱処理を行った基板上に成長核を形成したサンプルの 2 つのサンプルについて比較検討を行った。また面内の偏りを防ぐため AFM 測定はそれぞれのサンプルに於いて 6 か所ずつ測定を行った。

熱処理条件と成長核形成の評価結果

図 4 にそれぞれの熱処理条件の r, S ナノファセット基板に成長核を形成したサンプルの AFM 観察結果を示す。

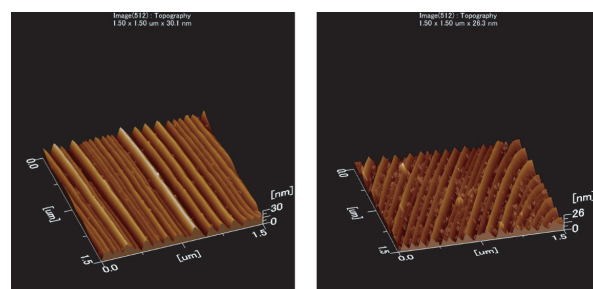


図4 AFM測定結果3D画像
左 (a) 1400℃ 20h (b) 1400℃ 40h

画像結果を比較すると20hに比べ40h熱処理を行った基板に作成した場合の方が成長核の数が多いことがわかる。またナノファセット高さのばらつきが40hの方が20hに比べ小さい、つまり40hは均一性が高いことも明らかになった。高さのばらつきに関しては従来からの研究結果と同様の結果である。

表2はそれぞれの測定か所の最大のナノファセットの高さとそれぞれの画像から確認できたr, Sナノファセット面上の成長核の形成状況をまとめたものである。rナノファセット面においては20h, 40hとでは成長核の個数に大きな差がなかった。しかし20hから40hに熱処理時間を増やすことでS面上の成長核の個数が飛躍的に増えていることがわかった。さらに40hの熱処理を行った基板の方が全体にナノファセットの高さが低くなっていることもわかった。

表2 1400℃ 20h, 40hで熱処理を行ったサンプルの成長核とナノファセット高さの関係

(a) 1400℃ 20h	height (nm)	S-plane	r-plane	(b) 1400℃ 40h	height (nm)	S-plane	r-plane
1	24	0	18	1	12	42	5
3	25	0	53	2	18	135	45
7	20.9	12	42	3	17	23	9
9	21	17	25	4	16	73	35
12	18	4	35	5	20	112	75
13	24	8	74	6	12	53	35
Average	22.2				15.8		
nuclei Sum		41	247			438	204

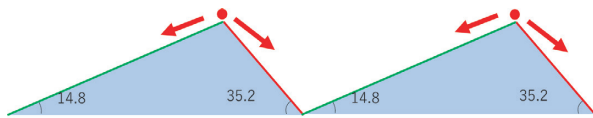


図5 1400℃ 20hのナノファセットモデル図

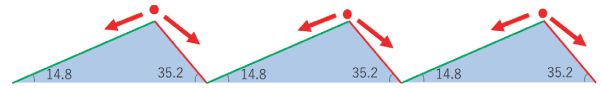


図6 1400℃ 40hのナノファセットモデル図

図5, 6で1400℃ 20hと1400℃ 40hの熱処理を行ったサファイア基板ナノファセット構造のモデル図を示した。図4で明らかなように成長核はナノファセットの上部に形成される傾向にある。初期成長においてナノファセットの高い部分にまず成長初期核が堆積し、その後低いところに向けて低温バッファ層が堆積されること、引き続き行われる高温アニールにより成長核が形成されると判断した。つまりナノファセットの高さが低いと同じ面積の基板上に形成されるナノファセットの個数が増加し、低温バッファ層の堆積が起こる起点の総数が増加する。それによりバッファ層成長によりアモルファス層で基板全体を覆うことが起こりやすくなると考えた。つまり均一性の高くなおかつ高さの低いナノファセット構造を形成することが重要で今回の比較においては1400℃ 40hの熱処理により形成されたナノファセット構造が優れているとの結論に至った。

著書・論文

T. Sasaki and M. Kobayashi Fabrication of Solar Cells By Tuning the Composition Ratio of AgGaTe₂ to Ga-Rich Journal of Electronic Materials, 2025 https://doi.org/10.1007/s11664-025-11803-z

講演・発表

佐々木達也, 鈴木隆太, 小林正和 Ga-rich の AgGaTe₂ 薄膜の作製による太陽電池の変換効率向上 [25a-22A-1] 第71回応用物理学会 春季学術講演会 (都市大学) 2024年 3 月22日 ~ 25日
川畑光瑠, 井元萌々香, 郭 洪甫, 田中駿平, 小林正和 GaAs (100) 基板上 SnTe 薄膜における核形成プロセスの制御 [25a-22A-2] 第71回応用物理学会 春季学術講演会 (都市大学) 2024年 3 月22日 ~ 25日
井元萌々香, 川畑光瑠, 郭 洪甫, 田中駿平, 小林正和 Hall 効果測定及び Raman 分光測定による GaAs 基板上 SnTe 薄膜の評価 [25a-22A-3] 第71回応用物理学会 春季学術講演会 (都市大学) 2024年 3 月22日 ~ 25日
T. Sasaki and M. Kobayashi Formation of off-stoichiometric AgGaTe₂ and application to solar cells Thu0900, The 2024 Electronic Materials Conference (University of Maryland in College Park, MD), JUNE 26-28, 2024
S. Tanaka, M. Kobayashi, Q. Chen, and Y. Chen Relationship between the Uniformity of the r- and S-plane nanofaceted Substrate and the Nuclei Formation for Molecular Beam Epitaxial Layer of ZnTe on Sapphire [TF2-ThM-9] 2024 AVS Pacific Rim Symposium on Surfaces, Coatings and Interfaces, Dec. 8-12, 2024, Waikoloa Hawaii