OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | Epitaxial Growth, Structural Characteristics, and Electronic States of Ytterbium Pnictides |
| Author(s) | Chen, Yitong |
| Citation | 大阪大学, 2026, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://doi.org/10.18910/105641 |
| rights | |
| Note | |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Form 3

# Abstract of Thesis

| Name ( 陳 奕同 CHEN, Yitong ) | |
|---|---|
| Title | Epitaxial Growth, Structural Characteristics, and Electronic States of Ytterbium Pnictides<br>(イッテルビウムニクタイドのエピタキシャル成長、構造特性および電子状態) |

## Abstract of Thesis


Rare-earth pnictides (*REPn*s) are well known for their diverse magnetic and electronic properties originating from strongly localized 4*f* electrons [1,2]. In recent years, thin-film growth by molecular beam epitaxy (MBE) under ultra-high-vacuum conditions has emerged as a practical approach for fabricating high-quality single crystal samples of *REPn*s, particularly *REN*s [3-5] and *RESb*s [6,7]. However, the epitaxial growth of ytterbium-based pnictides remains challenging. Because Yb is unable to catalyze the dissociation of $N_2$ molecules, unlike many other rare-earth elements, an activated nitrogen source is required for the MBE growth of YbN [8]. As a result, epitaxial YbN thin films have not been reported to date. Meanwhile, Yb ions can adopt either divalent or trivalent states, giving rise to multiple Yb-Sb compounds with different stoichiometries [9]. So far, however, reports on Yb-Sb thin films have been limited to $YbSb_2$ [10], while thin films of other ratios between Yb and Sb remain unexplored.

In this study, we successfully fabricated high-quality single-crystalline YbN thin films for the first time using nitrogen-plasma-assisted MBE [11]. Photoelectron spectroscopy (PES) reveals that Yb ions are in a purely trivalent state and that YbN is semiconducting. Also, evidence of hybridization between the Yb 4*f* and N 2*p* states is found [12].

Meanwhile, a systematic growth study of Yb-Sb thin films was carried out, in which epitaxial growth of divalent compounds was achieved under both Yb-rich ($Yb_{11}Sb_{10}$) and Sb-rich ($YbSb_2$) conditions, while trivalent YbSb could not be synthesized. This could be attributed to the weaker electron affinity of Sb compared with lighter pnictogen elements, which is insufficient for the unstable trivalent Yb ions.



[1] H. Takahashi and T. Kasuya, J. Phys. C: Solid State Phys. **18**, 2697, 2709, 2721, 2731, 2745, 2755 (1985).
[2] C. Duan *et al*. J. Phys.: Condens. Matter. **19**, 315220 (2017).
[3] V. Pereira *et al*. Phys. Rev. Mater. **7**, 124405 (2023).
[4] E. Anton *et al*. Appl. Phys. Lett. **123**, 262401 (2023)
[5] A. Meléndez-Sans *et al*. Phys. Rev. B **110**, 045120 (2024).
[6] S. Chatterjee *et al*. Phys. Rev. B **99**, 125134 (2019).
[7] H. Inbar *et al*. Phys. Rev. Mater. **6**, L121201 (2022).
[8] F. Ullstad *et al*. ACS Omega **4**, 5950 (2019).
[9] R. Bodnar *et al*. Inorg. Chem. **6**, 320 (327).
[10] R. Dhara *et al*. Phys. Rev. Mater. **9**, 034801 (2025).
[11] M. Li *et al*. Vacuum **231**, 113820 (2025).
[12] Y. Chen *et al*. Phys. Rev. Mater. **9**, 123403 (2025).

様式 7

# 論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏　名 | （　YITONG CHEN　） | |
|---|---|---|
| | （職） | 氏　名 |
| 論文審査担当者 | 主 査　教 授 | 木村　真一 |
| | 副 査　教 授 | 松野　丈夫 |
| | 副 査　教 授 | 萩原　政幸 |
| | 副 査　准教授 | 越智　正之 |
| | 副 査　助 教 | 中村　拓人 |

## 論文審査の結果の要旨

希土類ニクタイドは、希土類のもつ不完全 4f 軌道の強い局在性に起因する多様な磁気的・電子的特性によって、複雑な磁気相図やトポロジカル相転移などが現れることで、古くから研究されている物質である。従来、バルク結晶を使った物性研究が進められてきたが、希土類ニクタイドの中でも窒化希土類やアンチモン化希土類の一部はバルク物質が合成できないことがわかってきた。そこで近年、超高真空条件下での分子線エピタキシー（MBE）による薄膜成長によってこれらの物質の合成が試みられている。

そのような中で、窒化イッテルビウム（YbN）の MBE 成長は、Yb が窒素分子を解離できないために $N_2$ 分子を使う従来の薄膜作製の方法では困難であった。そこで Chen, Yitong 氏は、プラズマ補助活性化窒素源を用いることで、この困難を解決した。その結果として、これまで報告されてきた YbN 薄膜に比較して最も純度の高い高品質な単結晶 YbN 薄膜の作製に初めて成功した。この物質の結晶構造を電子線回折法および X 線回折法で確認し、さらに電子状態を光電子分光法により調査することで Yb イオンが純粋な三価状態にあり、約 1.6 eV のエネルギーギャップを持つ半導体であることを明らかにした。

さらに Chen 氏は、アンチモン化イッテルビウム（YbSb）の MBE 成長を行うために、基板温度や Yb と Sb の蒸着速度を詳細にコントロールしながら条件の探索を行った。その結果として、Yb 過剰（$Yb_{11}Sb_{10}$）および Sb 過剰（$YbSb_2$）の合成は確認できたが、目標とする YbSb は合成できないことがわかった。さらに、作製した $YbSb_2$ の角度分解光電子分光を行い、2×1 表面再構成による電子状態についての情報も得て、$YbSb_2$ の結晶構造と矛盾がないことも確認している。作製された $Yb_{11}Sb_{10}$ と $YbSb_2$ での Yb の価数は、YbSb で予想される三価とは異なる二価であることも確認した。三価である YbN との結果との違いは、アンチモンの電子親和力が窒素より弱いことに起因していることを考察している。

本研究で得られた結果は、バルク結晶では作れなかった希土類ニクタイドのうち、窒化イッテルビウム YbN とアンチモン化イッテルビウムを新たに作製し、その電子状態観測によって物性を明確にしたものであり、新たな物質探索及び物性評価としてさらなる発展につながる重要な成果である。

上記のように、本博士論文の研究内容は、新奇希土類ニクタイドを薄膜化することで合成に成功し、電子状態観測から物性も評価したことで、当該分野の新たな領域を開拓するものとして高く評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。