



Title	Experimental and theoretical studies on bismuth thin films on semiconductor substrates
Author(s)	Modak, Jibon Krishna
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/96423
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Modak Jibon Krishna)	
Title	Experimental and theoretical studies on bismuth thin films on semiconductor substrates (半導体基板上のビスマス薄膜に関する実験的および理論的研究)

Abstract of Thesis

This study explores the influence of lattice matching on the behavior and electronic structure of bismuth (Bi) thin films on semiconductor substrates such as indium antimonide (InSb). My research combines experimental and theoretical calculations to investigate the impact of the electronic structure of the Bi/InSb system, and results demonstrate that Bi ultrathin films exhibit significant deviations from their expected behavior when not in contact with substrates due to interactions with the substrate itself. Angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES) measurements reveal noteworthy modifications in the film's electronic band structure compared to isolated Bi films, resulting in the formation of a quantum well state (QWS). By analyzing the QWS using the theoretical phase accumulation model (PAM) and comparing it with corresponding fitted parameters from density functional theory (DFT) calculations, my experimental observations are further supported, providing deeper insights into the structural and electronic changes induced by lattice matching. This study offers solutions to longstanding debates in the field by emphasizing the critical role of lattice matching in the epitaxial growth of materials. Furthermore, my experimental evidence reveals a semi-metal-to-metal (SMM) transition during monolayer formation, as well as the presence of QWS starting from the bilayer stage, challenging the prevailing notion of a semi-metal-to-semiconductor (SMSC) transition with decreasing film thickness. These findings provide a fresh perspective on the thickness-dependent properties of Bi thin films.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 (MODAK, Jibon Krishna)		
論文審査担当者	(職)	氏名
	主査 教授	木村 真一
	副査 教授	新見 康洋
	副査 教授	越野 幹人
	副査 教授	保坂 淳
	副査 准教授	渡辺 純二

論文審査の結果の要旨

ビスマス (Bi) は、非放射性元素の中で最も原子番号が大きいために、相対論効果であるスピン軌道相互作用が強い物質である。その大きなスピン軌道相互作用によって、トポロジカル絶縁体の表面金属状態の出現など、興味深い物性が現れるため、近年盛んに研究が行われている。それらの研究の1つに、薄膜にした Biにおいて、量子閉じ込め効果などバルクとは異なる電子状態が観測されてきた。しかしながら、これまで報告してきたものは 2 BL (2 原子層が 1 単位 (BL)) 以上であり、更に薄い 1 BL から単原子層 (0.5 BL) に至る Bi 超薄膜はこれまで作られておらず、このような超薄膜の電子状態は未解明であった。

MODAK, Jibon Krishna 氏は、これまで報告されてこなかった 1 BL 以下の Bi 超薄膜の作製とその電子状態の観測を行った。具体的には、Bi 薄膜作製の際に、Bi の格子定数に近い InSb(111)半導体基板を選択し、その Sb 終端の面に Bi を蒸着することで 1 BL 以下の六方晶 Bi 超薄膜を、高速電子線回折測定によって厚さを精密に制御することで作製した。この 1 BL の角度分解光電子分光 (ARPES) を行ったところ、明確な量子井戸状態の観測に成功した。0.5 BL (単原子層) では、1 BL ほど明確ではないにしても逆格子点の M 点に、量子井戸状態に由来すると考えられるピークを観測した。これらの結果を 2 BL 以上の結果と合わせて解析したところ、量子井戸状態のエネルギー準位の厚さ依存性の理論式に、薄い極限である 0.5 BL までよく合っていることがわかった。

更に、ARPES で電子状態を詳細に観測したところ、1 BL 以上では、電子とホールの両方のフェルミ面が存在する半金属であったが、0.5 BL では Γ 点にホール面だけ存在する金属状態であることがわかった。この結果は、超薄膜にすることで電子状態のトポロジーが変化していることを示している。

本研究で得られた結果は、古くから研究してきたビスマスを超薄膜にすることで、これまでには観測できなかった新しい物理現象が現れたことを示したものであり、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、ビスマスの持つスピン軌道相互作用と単原子層の相乗効果による新奇物性を実験的に明らかにした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。