OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Study of Surface Charge and Dipole Moment on TiO2 (110) Surface with Atomic Resolution
Author(s)	温, 煥飛
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/61781
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name （温　煥飛）

Title: Study of Surface Charge and Dipole Moment on TiO_2(110) Surface with Atomic Resolution
(TiO_2(110)表面における表面電荷と双極子モーメントの研究)

The surface charge distribution is a very significant property of materials and is often used to investigate various physical and chemical processes on surfaces. The dipole moment is also key to characterize surface properties and influence electronic structures and transport in materials. In addition, tunneling current is employed to investigate the electron density of states. Kelvin probe microscopy is used to obtain work function by measuring the contact potential difference. Recently, combining the surface analysis techniques has demonstrated great capabilities in the investigation of physical properties. However, it is very difficult to obtain surface potential and tunneling current simultaneously using Kelvin probe force microscopy with bias voltage feedback due to the variable bias voltage. Furthermore, simultaneous measurement of surface potential and dipole moment is not realized yet at the atomic-scale. It is necessary to develop novel methods for realizing above simultaneous measurement to widely collect physical information.

Consequently, in this doctoral dissertation my fundamental concern will develop novel measurement techniques and explore the material surface properties. First, we propose a multi-imaging method for obtaining the frequency shift, tunneling current and surface potential distribution with atomic resolution. Site-dependence spectroscopies are performed to give unambiguous interpretations of the origin of the atomic images. The multi imaging method will become a powerful tool to investigate the semiconductor physical properties. Second, we derive a theoretical formulation for recording the dipole moment by KPFM and propose a method to simultaneously record surface potential and dipole moment. It provides access to evaluate the effect of dipole moment in the surface potential measurement. Finally, we measure the dipole moment induced surface potential.

In chapter 1, research background and importance of the scanning probe microscopy in the surface science and surface analysis methods are introduced. Problems presented in the application and the demand for the new method are talked in details. The purpose of the dissertation is ambiguously described.

In chapter 2, we present a brief review of the key topics. At first, we review the theory of AFM, including the interactions between tip and sample surface, operation modes, stability of the system, dynamics of cantilever and noise in the system. Then the dynamic scanning tunneling microscopy is explained with the introduction of the traditional STM. Thirdly, a brief explanation of KPFM with/without bias voltage feedback is given.

In chapter 3, the home-built AFM/KPFM system operated at low temperature under ultra-high vacuum (UHV) is described in detail. The function of different chamber and how to remove the vibration is explained. The AFM unit, including sample approach and cantilever oscillation stage is introduced, and deflection detection system with the high sensitivity is presented. Furthermore, we describe the preparation of the sample and cantilever used in the measurements.

In chapter 4, a method to measure the frequency shift, tunneling current and local contact potential difference using AFM/KPFM, is proposed. The method takes advantages of their respective features providing the complementary information. The tunneling current image reveals rarely observed surface oxygen atoms contrary to the conventional results where the Ti *3d* states were observed. We analyze how the surface and subsurface defects affect the distribution of the LCPD. In addition, the subsurface defects are observed clearly in the tunneling current image, in contrast to a topographic image. To clarify the origin of the atomic contrast, we perform site-dependent spectroscopy as a function of the tip-sample distance.

In chapter 5, first, a method of simultaneously recording local potential difference and dipole moment is introduced. We derive the theoretical calculation and perform the experiment on the TiO_2(110) surface. Second, we propose a method to measure dipole moment induced local surface potential.

In chapter 6, it summarizes the important experimental results of this thesis. An outlook on future work in charge transfer measurements by AFM/KPFM is also provided.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（温　焕飛）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　准教授	李　艷君
	副 査　教授	民谷　栄一
	副 査　教授	菅原　康弘
	副 査　准教授	Wilson Agerico Diño
	副 査　教授	松本　卓也（理学研究科化学専攻）

論文審査の結果の要旨

試料の表面電荷や双極子モーメントに関係する表面電位は、多くの物理化学過程を左右する極めて重要な物性である。特に、触媒表面においては、欠陥とその電荷状態が、触媒活性に強く影響することが知られている。表面電位の空間分布を高感度・高分解能に撮像するため、探針・表面間に働く静電気的相互作用を検出するケルビンプローブ力顕微鏡が用いられている。これまでのケルビンプローブ力顕微鏡では、直流バイアス電圧を印加し、探針・表面間の静電気的相互作用が最小になるように直流バイアス電圧をフィードバックさせることにより調整する。このため、導電性の試料に対しては、表面電位によって直流バイアス電圧が変化するため、定量的に探針・試料間に流れるトンネル電流を測定することが困難であった。また、試料の表面電荷や双極子モーメントに関係する情報を分離測定することが困難であった。

本学位申請論文は、ケルビンプローブ力顕微鏡における表面電位測定に関する研究をまとめたものである。本論文における主な成果を要約すると以下の通りである。

(1) 直流バイアス電圧をフィードバックしないケルビンプローブ力顕微鏡に、トンネル電流を測定する機能を追加することにより、一定直流バイアス下で、試料の表面電位と流れるトンネル電流を同時測定する新しい顕微鏡を提案した。実際に、二酸化チタン表面と取り上げ、その形状と表面電位、トンネル電流を原子分解能で測定できることを実証した。本手法により、局所的な表面電位とフェルミ準位近傍の局所電子密度の同時測定が可能となった。

(2) 試料表面の双極子モーメントを高感度・高分解能に測定する新しい方法を提案した。この方法は、誘電体表面の非線形誘電効果を測定する方法に基づいている。直流バイアス電圧をフィードバックしないケルビンプローブ力顕微鏡に、高次の非線形誘電率を測定する機能を追加することにより、表面形状、表面電位、双極子モーメントを測定できるようにした。二酸化チタン表面のヒドロキシ基欠陥近傍の形状と表面電位、双極子モーメントを世界で初めて原子分解能で測定することに成功した。また、ヒドロキシ基が傾くことによる双極子モーメントの非対称性を観察することにも成功した。

(3) 試料表面の双極子モーメントを定量的に測定するため、直流バイアス電圧をフィードバックさせる新しいポテシャル顕微鏡を開発した。この方法を用いることにより、試料の表面電位測定における表面電荷と双極子モーメントの寄与を定量的に分離測定できるようになった。

以上のように、本学位申請論文は、ケルビンプローブ力顕微鏡による表面電位の高感度・高分解能測定に関して研究したものであり、基礎的な面のみならず、応用の面でも有益な知見を得ており、応用物理学、特にナノ計測学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。