

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19740178

研究課題名 (和文) 応力可変サンプルホルダーの開発とひずみシリコン電子状態の研究

研究課題名 (英文) Development of strain-variable sample holder and application to electronic structure study on strained-Si surface

研究代表者

関場 大一郎 (SEKIBA Daiichiro)

筑波大学・大学院数理物質科学研究科・講師

研究者番号：20396807

研究成果の概要：

半導体の格子ひずみと電子物性の関係は、微細化を伴わないキャリア移動度の向上などの点から電子デバイスの性能向上等において重要視されている。しかし実際のデバイス開発では経験や不十分な第一原理計算に頼るしかないのが現状であり、第一原理計算のミクロスコピックな実験的検証が望まれている。本研究では応力により可逆的な格子ひずみを半導体試料に印加できるサンプルホルダーを開発し、それを用いて操作トンネル顕微鏡 (STM) や角度分解光電子分光法 (ARPES) といった手法でひずみ半導体の構造および電子状態を直接観察することを試みた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,900,000	0	1,900,000
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	420,000	3,720,000

研究分野：表面・界面物理学

科研費の分科・細目：物理学・物性 I

キーワード：表面・界面

## 1. 研究開始当初の背景

東京大学物性研究所に勤務 (小森研究室) していた際 Cu(100) 表面の電子状態が格子ひずみによって変化する様子を角度分解光電子分光 (ARPES) および第一原理計算との比較により明らかにした。金属表面の格子ひずみは触媒反応の活性化において重要と考えられていながらそれを電子状態の観点から実験的かつ定量的に示した例はそれまでなかった。本研究ではその経験を活かし、対象

とする系を金属表面から半導体表面へも拡張しようと考えた。

## 2. 研究の目的

金属表面の格子ひずみが応用の観点からは触媒開発に結び付けられるのに対し、半導体表面のそれは電子デバイスの性能向上と関連付けられる。微細化によるデバイスの高速化に限界が見られる中、バンドの構造を変えることにより電子などのキャリアの移動度

を向上しようという試みであり、実際にヘテロ界面などを利用して実績がある。しかし電子状態の観点からの基礎が弱く、特に実験による裏づけはなかった。そこで金属表面での経験を活かして格子ひずみのあるシリコン、ゲルマニウム表面の電子状態変化を ARPES により実測することを目的とした。

### 3. 研究の方法

表面物理学に用いられる STM、ARPES といった多くの装置がサンプルホルダーのトランスファーという形態をとっている。これは超高真空と表面科学特有のサンプルプレパレーションを両立するために発達したものである。サンプルホルダーのトランスファーという形態により清浄化、雰囲気への曝露、他金属の蒸着などによる真空度悪化が測定に与える影響を最小限に抑えることができる。一方で、サンプルの温度測定機構など、サンプル準備や測定に必要な全ての機構を移動可能なサンプルホルダーに作りこまなくてはいけないという点で実験的には大きな制限ともなる。本研究ではこのような制限のもとで半導体サンプルに応力を加えられる応用範囲の広いホルダーの考案、開発を試みた。

### 4. 研究成果

半導体サンプルは厚さ 0.5 mm 程度のウエハの形をとることが多い。金属サンプルと違い、板状のサンプルを曲げることで応力を印加できるのが特徴である。よって両端を押さえて中央を押していく 3 点支持法で応力を引火するのが最も効果的である。一方で多くの実験装置で採用されているトランスファー可能なサンプルホルダーの大きさはせいぜい 20 mm 四方である。3 点支持の場合はサンプルが大きいほど容易に応力を印加することができ、10~20 mm というのは厚さ 0.5 mm の半導体を曲げる上で限界に近い小ささである。また、応力を印加したままサンプルをトランスファーできるような機構にする必要がある。

本研究では広く流通しているオミクロン社製の STM で採用されているトランスファー可能なサンプルホルダーに 3 点支持タイプの応力印加機構を適用した。また、通常のホルダーと同じように電氣的にサンプルホルダーを浮かせて通電加熱もできるようにした。

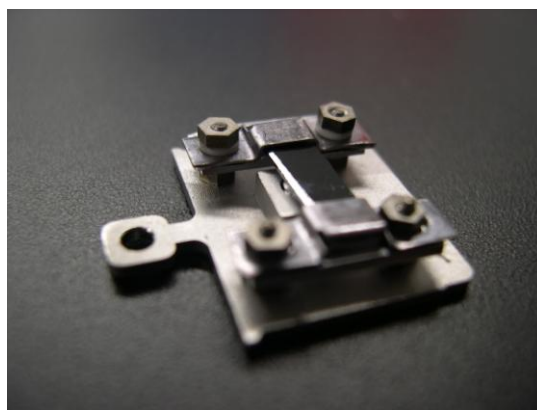


図1 開発したサンプルホルダーの写真(横)

図 1、2 に開発したサンプルホルダーの写真を示した。それぞれ横から見た図と上(縦)から見た図となっている。M1 のネジとナット、アルミナガイシを用いて長さ 10 mm、幅約 3 mm のゲルマニウムウエハの両端を固定している。片側がアースに落ちており、もう片側は電氣的に浮いており、通電加熱により 800 K までの加熱を確認できた。本体の材質は SUS、サンプル支持部分の材質は台がモリブデン、押さえ板にはある程度の弾力を持たせるためにタンタルを採用した。サンプルのすぐしたには本体に M3 のタップが切っており、先端を丸めたモリブデンのイモネジが埋められている。イモネジの背面はマイナス・ドライバーを挿入できるようになっており、真空装置外部から直線回転導入器によりイモネジを回せるようにした。本体とイモネジに異種金属を用いたことによりベークをした超高真空中でもネジを回してサンプルに応力を印加することができた。

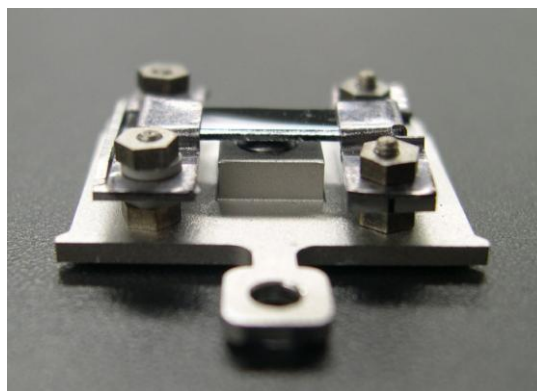


図2 開発したサンプルホルダーの写真(縦)

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 9 件、全て査読有り)

[1] Enhancement of optical second

harmonic generation by nitrogen adsorption on Cu(001)

H. Sano, M. Miyaoka, T. Iimori, D. Sekiba, K. Nakatsuji, W. Wolf, R. Podlousky, N. Kawamura, G. Mizutani, F. Komori  
Appl. Surf. Sci. 255, (2008) 3289-3293.

[2] Electron correlation effects in Co nanoscale islands on a nitrogen-covered Cu(001) surface

Kan Nakatsuji, Yoshihide Yoshimoto, Daiichiro Sekiba, Shunsuke Doi, Takushi Iimori, Kazuma Yagyu, Yasumasa Takagi, Shin-ya Ohno, Hideharu Miyaoka, Masamichi Yamada, Fumio Komori, Kenta Amemiya, Daiju Matsumura, and Toshiaki Ohta  
Phys. Rev. B 77 (2008) 235436-1-8.

[3] Surface restructuring process on a Ag/Ge(0 0 1) surface studied by photoelectron spectroscopy

Kan Nakatsuji, Takushi Iimori, Yasumasa Takagi, Daiichiro Sekiba, Shunsuke Doi, Masamichi Yamada, Taichi Okuda, Ayumi Harasawa, Toyohiko Kinoshita, Fumio Komori  
Applied Surface Science, 254 (2008) 7638-7641.

[4] Development of micro-beam NRA for 3D-mapping of hydrogen distribution in solids: Application of tapered glass capillary to 6 MeV 15N ion

D. Sekiba, H. Yonemura, T. Nebiki, M. Wilde, S. Ogura, H. Yamashita, M. Matsumoto, J. Kasagi, Y. Iwamura, T. Itoh, H. Matsuzaki, T. Narusawa, K. Fukutani  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 266 (2008) 4027-4036.

[5] Taper angle dependence of the focusing effect of high energy heavy ion beams by glass capillaries

T. Nebiki, D. Sekiba, H. Yonemura, M. Wilde, S. Ogura, H. Yamashita, M. Matsumoto, K. Fukutani, T. Okano, J. Kasagi, Y. Iwamura, T. Itoh, S. Kuribayashi, H. Matsuzaki, T. Narusawa  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 266 (2008) 1324-1327.

[6] Lattice strain and related phenomena on Metal Surfaces (in Japanese)

D. Sekiba, Y. Yoshimoto, K. Nakatsuji, F. Komori  
Journal of the Vacuum Society of Japan, 51 (2008) 285.

[7] Adsorption States and Dissociation Processes of Oxygen Molecules on Cu(100) at Low temperature

T. Katayama, D. Sekiba, K. Mukai, Y. Yamashita, F. Komori, J. Yoshinobu  
The Journal of Physical Chemistry C, 111 (2007) 15059-15063.

[8] Investigation of the surface bands along the X-M line of the Cu(100) surface

D. Sekiba, F. Komori, P. Cortona  
Physical Review B, 75 (2007) 165410-1-7.

[9] Strain-induced change in electronic structure of Cu(100)

D. Sekiba, Y. Yoshimoto, K. Nakatsuji, Y. Takagi, T. Iimori, S. Doi, F. Komori  
Physical Review B, 75 (2007) 115404-1-12.

[学会発表] (計 15 件)

[1] 2009 年 3 月 27~30 日 日本物理学会 第 64 回年次大会 立教大学池袋キャンパス 29pTE-3 グラファイト表面と白金微粒子との界面相互作用に関する研究  
近藤剛弘, 呉準杓, 綿引健二, 岩崎陽介, 和泉健一, 本間裕二郎, 畠大悟, 鈴木哲也, 関場大一郎, 工藤博, 中村潤児

[2] 2009 年 3 月 16 日 UTTAC 研究会「イオンビーム科学が拓く学際研究」筑波大学 RBS による調光ミラー合金劣化メカニズムの研究阿部知, 堀越真人, \*関場大一郎

[3] 2008 年 11 月 21~22 日 第 7 回水素量子アトムクス研究会  
NRA による Pd 膜水素吸収過程の時間変化観察  
関場大一郎, 米村博樹, 北岡勇太, 小倉正平, 松本益明, 岩村康弘, 伊藤岳彦, 松崎浩之, 成沢忠, 福谷克之

[4] "Catalytic property and morphology of Pt clusters on the graphite surface"

Junji Nakamura, Takahiro Kondo, Ken-ichi Izumi, Kenji Watahiki, Yosuke Iwasaki, June Pyo Oh, Daiichiro Sekiba, Hiroshi Kudo  
The 5th International Symposium on Surface Science and Nanotechnology

(ISSS-5), Waseda (Tokyo) 9-13, November, 2008.

[5] 2008年10月28日 第49回真空に関する連合講演会

ガラスキャピラリーを用いたガス雰囲気下での $^1\text{H}$  ( $^{15}\text{N}$ ,  $^{12}\text{C}$ ) 核共鳴反応法の開発

米村博樹, 関場大一郎, 北岡勇太, 小倉正平, ヴィルデ・マーカス, 福谷克之, 成沢忠, 根引拓也, 岩村康弘, 伊藤岳彦, 松崎浩之

[6] "In-situ NRA measurement of hydrogen uptake in palladium foil"

D. Sekiba, H. Yonemura, Y. Kitaoka, M. Matsumoto, Y. Iwamura, T. Itoh, H. Matsuzaki, T. Narusawa, K. Fukutani  
4th Vacuum and Surface Sciences Conference of Asia and Australia, Matsue (Japan) 28-31 October, 2008.

[7] "Catalytic Activity and Morphology of Pt Clusters on the Graphite Surface"

Takahiro Kondo, Kenji Watahiki, June Pyo Oh, Ken-ichi Izumi, Yosuke Iwasaki, Daiichiro Sekiba, Hiroshi Kudo and Junji Nakamura

American Vacuum Society (AVS) 55th International Symposium, Boston (United States) 19-24, October, 2008.

[8] "Significant Reduction in Adsorption Energy of CO on Platinum Nanoparticles on Graphite"

June Pyo Oh, Takahiro Kondo, Yoshiyuki Suda, Daiichiro Sekiba, Hiroshi Kudo and Junji Nakamura

American Vacuum Society (AVS) 55th International Symposium, Boston (United States) 19-24, October, 2008.

[9] "Catalytic property and morphology of Pt clusters on the graphite surface"

Takahiro Kondo, Ken-ichi Izumi, Kenji Watahiki, June Pyo Oh, Daiichiro Sekiba, Hiroshi Kudo and Junji Nakamura

25th European Conference on Surface Science, Liverpool (United Kingdom) 8-12, July, 2008.

[10] "Promoted Catalytic Activity of a Platinum Monolayer Cluster on Graphite"~

Takahiro Kondo, Ken-ichi Izumi, Kenji Watahiki, June Pyo Oh, Daiichiro Sekiba, Hiroshi Kudo and Junji Nakamura

Pre-Symposium of 14th International

Congress on Catalysis (ICC 14), Kyoto (Japan) 8-12, July, 2008.

[11] 2008年3月27~30日 第55回応用物理学関係連合講演会 日本大学理工学部船橋キャンパス

29p-ZL-2/II ガラスキャピラリーによるビーム収束と水素分析用共鳴核反応法の開発

関場大一郎, 米村博樹, 根引拓也, 小倉正平, マーカス・ヴィルデ, 松本益明, 岡野達雄, 笠木治郎太, 成沢忠, 栗林志頭真, 岩村康弘, 伊藤岳彦, 松崎浩之, 福谷克之

[12] "Taper angle dependence of the focusing effect of high energy heavy ion beams by glass capillaries (oral)"

T. Nebiki, D. Sekiba, H. Yonemura, M. Wilde, S. Ogura, H. Yamashita, M. Matsumoto, K. Fukutani, T. Okanob, J. Kasagi, Y. Iwamura, T. Itoh, S. Kuribayashi, H. Matsuzaki, T. Narusawa  
18th International Conference on Ion Beam Analysis (Hyderabad, India, 23 September 2007).

[13] "Micro-beam NRA for 3D mapping of hydrogen distribution in solids (oral)"

D. Sekiba, H. Yonemura, T. Nebiki, S. Ogura, M. Wilde, M. Matsumoto, T. Okano, J. Kasagi, T. Narusawa, S. Kuribayashi, Y. Iwamura, T. Ito, H. Matsuzaki, K. Fukutani

18th International Conference on Ion Beam Analysis (Hyderabad, India, 23 September 2007).

[14] 2007年9月21~24日 日本物理学会第62回年次大会 北海道大学札幌キャンパス

24aTK-5 N/Cu(001)表面上のCoナノドットの電子状態

中辻寛, 雨宮健太, 吉本芳英, 関場大一郎, 土肥俊介, 飯盛拓嗣, 柳生数馬, 高木康多, 大野真也, 宮岡秀治, 山田正理, 松村大樹, 太田俊明, 小森文夫

[15] 2007年3月28日 応用物理学会、青山学院大学相模原キャンパス

28p-ZV-8 タイトル: ガラスキャピラリー収束イオンビームによる3次元水素分析法の開発  
根引拓也, 関場大一郎, 米村博樹, Markus Wilde, 小倉正平, 山下博, 松本益明, 福谷克之, 岡野達雄, 笠木治郎太, 成沢忠, 松崎浩之

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関場 大一郎 (SEKIBA Daiichiro)  
筑波大学・大学院数理物質科学研究科・講師  
研究者番号：20396807