

量子効果で銀細工

-1nm 厚の銀超薄膜内電子状態の次元制御-

Silversmithing by the quantum effects

-Regulating dimensionality of electronic states in 1nm-thick ultrathin silver film-

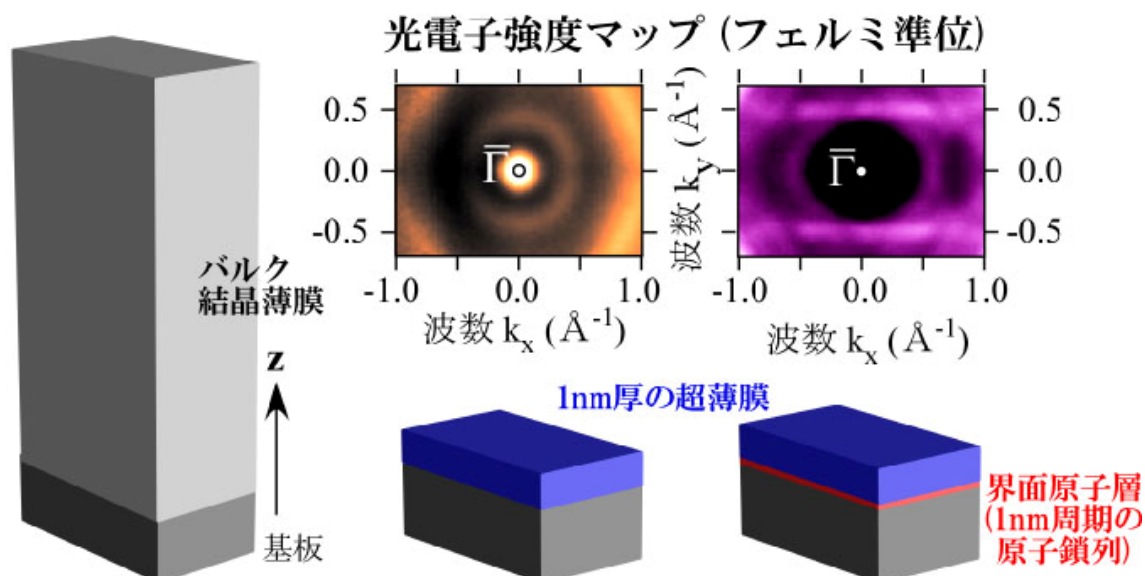
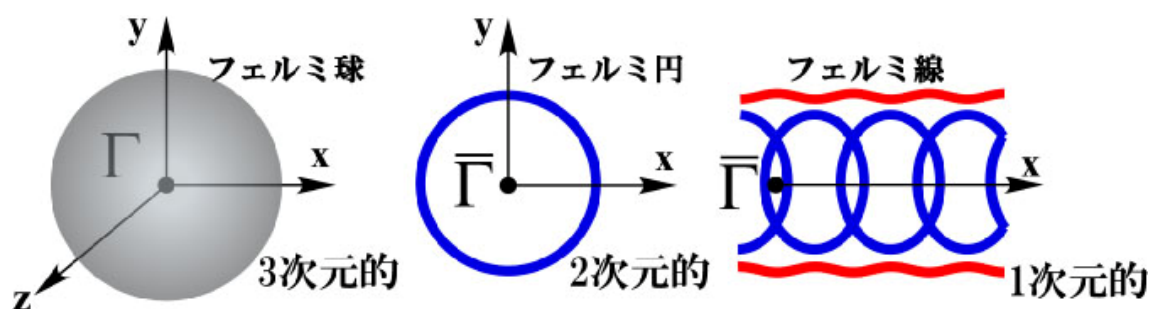
松田巖（東京大学物性研究所）

Iwao Matsuda (ISSP, the University of Tokyo)

東京大学物性研究所の松田巖准教授及び研究室院生の小河愛実氏（東京大学大学院理学系研究科 博士課程3年）はイタリアとアメリカの研究グループと共に、半導体基板上の銀結晶薄膜の電子状態を3次元、2次元、1次元へと制御できることを示した。銀の膜厚を内在する電子の波長に対応する約1ナノメートル (10^{-9} m, nm)まで薄くすると電子は量子力学的に振る舞い、電子系は3次元から2次元へと転移して銀は自発的に平滑な超薄膜を形成する。本研究において、このような銀のナノ薄膜を半導体基板に用意した1nm周期の原子鎖列上に成長させたところ電子状態はさらに1次元へと転移することが明らかとなった。このような電子状態のトポロジカル変化は、高輝度放射光光源を用いた光電子分光法による電子構造（フェルミ面）の直接観測で確認された。詳細なデータ解析から、銀薄膜の電子状態は薄膜／基板界面原子鎖列の1次元電子状態と量子力学的に相互作用し、自発的に1次元構造を形成していることも分かった。

これら低次元の電子状態はいずれも室温で実現されており、また電子を閉じ込めている銀薄膜も簡単な蒸着法により作製している。超微小材料では室温でも量子効果が発現し、その結果、金属結晶において原子構造及び電子状態の次元性の転移が自発的に促されることを本研究は初めて明らかにした。量子力学を利用したこの新たな“金属細工”法はナノデバイス技術に新しい可能性を示す。

掲載誌：M. Ogawa, A. Gray, P. M. Sheverdyeva, P. Moras, H. Hong, L.-C. Huang, S.-J. Tang, K. Kobayashi, C. Carbone, T.-C. Chiang, and I. Matsuda. *Physical Review Letters*, **109**, 026802 (2012).



A group of Prof. Iwao Matsuda in the Institute for Solid State Physics has demonstrated, through collaborations with Italian and American groups, that an electronic state in a silver crystal film can be regulated to 3-dimensional (3-D), 2-dimensional (2-D), and 1-dimensional (1-D). Reducing silver film thickness down to wavelength of an electron inside, corresponding to about 1 nanometers (10^{-9} m, nm), an electronic system makes transition from 3-D to 2-D and the atomically-flat 2-D film is spontaneously formed by this quantum-mechanical effect. The present research has found that an electronic state in such an ultrathin silver film further becomes 1-D when the film is grown on a 1nm-periodic array of atomic wires, prepared on a semiconductor substrate. The topological evolutions of the electronic structure (the Fermi surfaces) have directly observed by photoemission spectroscopy using high-brilliant synchrotron radiation. The detailed data analysis has also revealed that the silver film spontaneously forms 1-D structure through electronic interactions with the atomic wires at the film/substrate interface.

The low-dimensional electronic states, described above, are realized at room temperature and the films, confining the electrons, are prepared simply by metal evaporations. In ultra-small materials, the quantum effect occurs even at room temperature. As a consequence, the present research has shown that the dimensional transitions of atomic structure and electronic states can be induced spontaneously in metal crystals. This “metal smithing” method, using quantum mechanics, indicates a new possibility in developing nanodevices.

Paper: M. Ogawa, A. Gray, P. M. Sheverdyaeva, P. Moras, H. Hong, L.-C. Huang, S.-J. Tang, K. Kobayashi, C. Carbone, T.-C. Chiang, and I. Matsuda, *Physical Review Letters*, **109**, 026802 (2012).

