VII.-3　固体光物性グループ

講師　大久保宜昭、東山和幸

【1】半導体表面・界面の物性研究 (東山和幸)

(1) ゲルマニウム (001) 表面におけるシリコンの成長と形態

シリコン表面にゲルマニウムを吸着させると下地の周期性と対称性を反映してエピタキシャル成長することが知られている。特にシリコン (001) を基板としたゲルマニウムの成長は応用的側面もあり、活発に研究されている。近年の表面分析手法の進歩と表面制御技術の高度化により、界面の性質が成長した膜の性質に重要な影響を与えることがわかってきた。我々は以前、東北大学多元物質科学研究所 (旧科学計測研究所) のグループと共同で界面形成の初期過程に関する研究を行った。その結果、1) ゲルマニウムは下地シリコンと混じり合いながら層状成長する、2) 成長した層は主に非対称ダイマーでできており、格子歪みに由来すると思われるダイマー欠損が生じる、3) ゲルマニウムは少なくとも下地第 4 層まで拡散していることを見い出した (H.W. Yeom *et al.*, Surface Science 381(1997)L533)。

界面の性質の理解を更に進めるため、今回我々は反転系シリコン吸着ゲルマニウム (001) 表面の研究を行った。図 1 と 2 はそれぞれ清浄なゲルマニウム (001) 表面の低速電子回折図形と走査トンネル顕微鏡像である。シリコンの場合と同様、対称ダイマーからなる (2×1) 構造と非対称ダイマーによる $c(4\times2)$ 構造が観測される。図 3 はシリコンを室温で吸着させた時の顕微鏡像である。結晶性は悪いが、シリコンは吸着初期から島状成長していることがわかる。図 4 は下地を 380°C に保持したままシリコンを吸着させた場合の顕微鏡像である。島のサイズが大きくなり、結晶性も向上している。図 5 に示すように、島の最上層は主に非対称ダイマーでできており、高い $c(4\times2)$ 周期性を示す。図 6 はシリコンを 4.2 原子層吸着させた時の顕微鏡像である。ダイマー列に平行に欠損が生じ、島は短冊状に割れている。

ゲルマニウム/シリコン (001) とシリコン/ゲルマニウム (001) を比較すると、1) 成長の結果生じた生成物の最小構造単位は両者ともダイマーである、2) マクロな形態はゲルマニウムは層状で、シリコンは島状であることがわかる。ダイマー化はエネルギー利得の結果であり、形態の違いは表面エネルギーの違いによって定性的に理解できる。ただし、ゲルマニウム吸着の場合のような拡散が起こっているかどうかは不明である。たとえば光電子回折などの手法を用いる必要があると思われる (論文 1)。

(2) シリコン表面における鉄シリサイドの形成

東京大学物性研究所のグループと共同研究。シンクロトロン放射光励起内殻光電子分光を用いてシリコン(111) 7×7、ボロン吸着 $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$、水素吸着 1×1 表面上の鉄シリサイド形成過程に関する研究を行った(講演1、2)。

〈論文〉

1. M. Iwabuchi, K. Higashiyama, A. Kubo, S. Hosoi、Growth and morphology of Si on Ge(001) studied by scanning tunneling microscopy、To be submitted to Jpn. J. Appl. Phys.

〈講演〉

1. 脇田高徳、小野雅紀、奥田太一、原沢あゆみ、木下豊彦、長谷川幸雄、東山和幸、Si表面のFeシリサイドの形成、2002年日本物理学会。
2. 脇田高徳、小野雅紀、奥田太一、原沢あゆみ、松島毅、東山和幸、長谷川幸雄、木下豊彦、Si(111)7×7表面、Si(111)$\sqrt{3}\times\sqrt{3}$-B表面、Si(111)1×1-H表面のFeシリサイド薄膜の成長、2003年日本放射光学会。

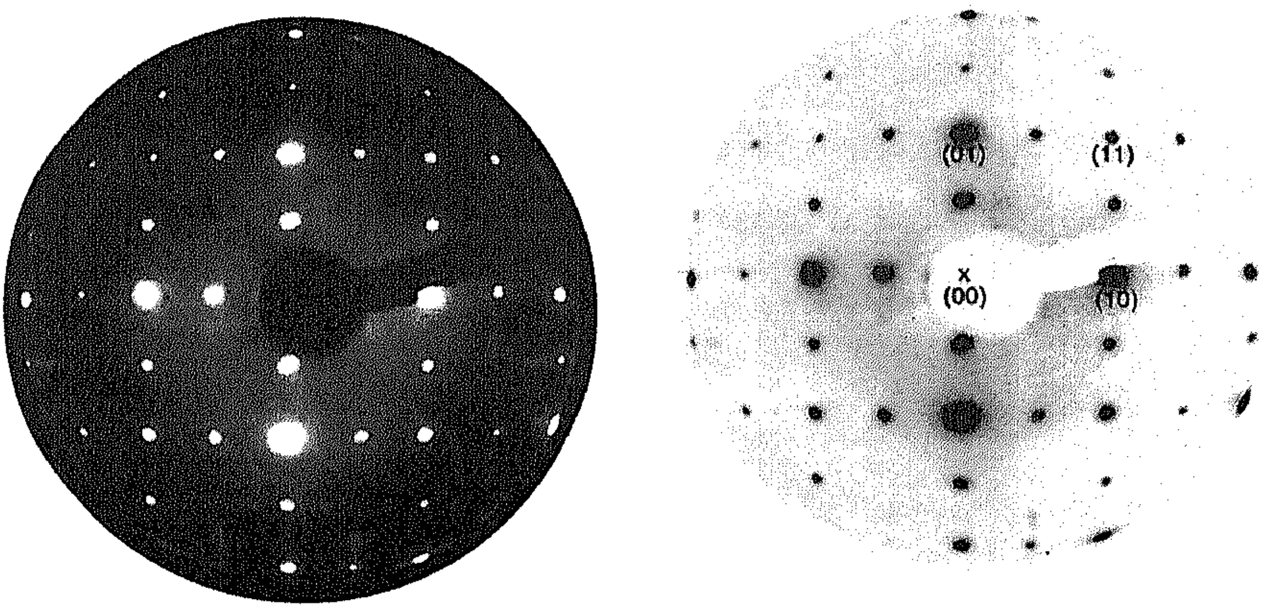

図１：Ge(001) 清浄表面の低速電子回折図形

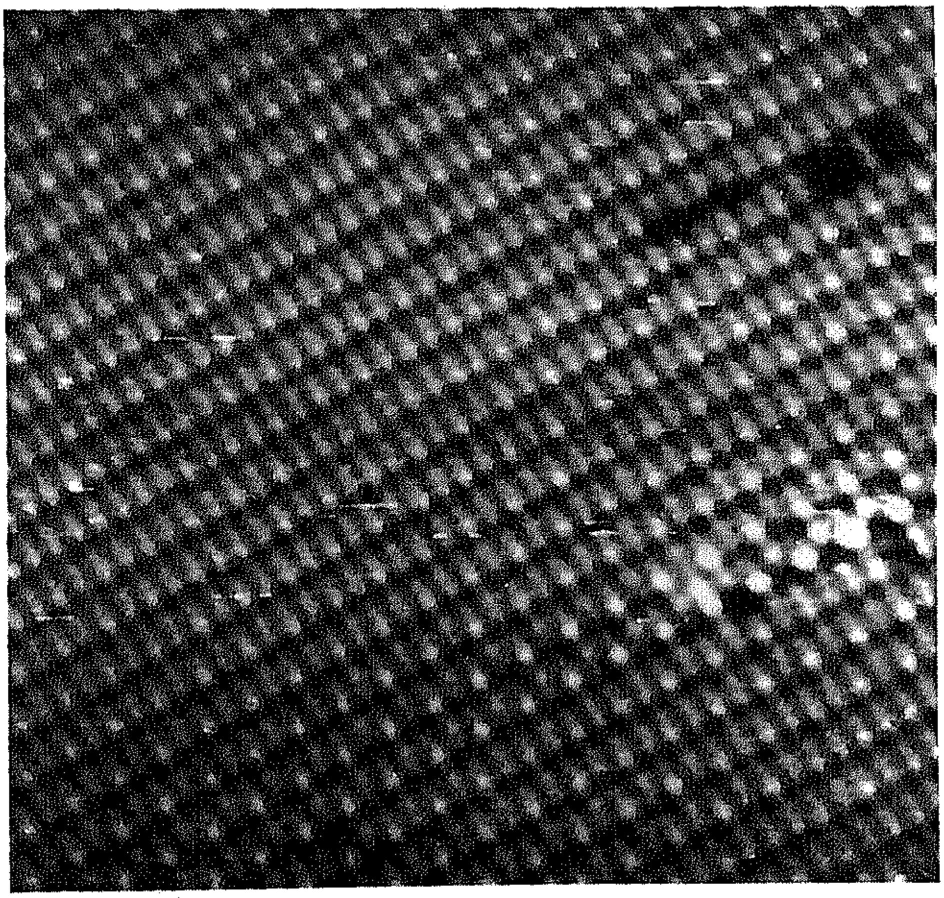

図２：Ge(001) 清浄表面の走査トンネル顕微鏡像

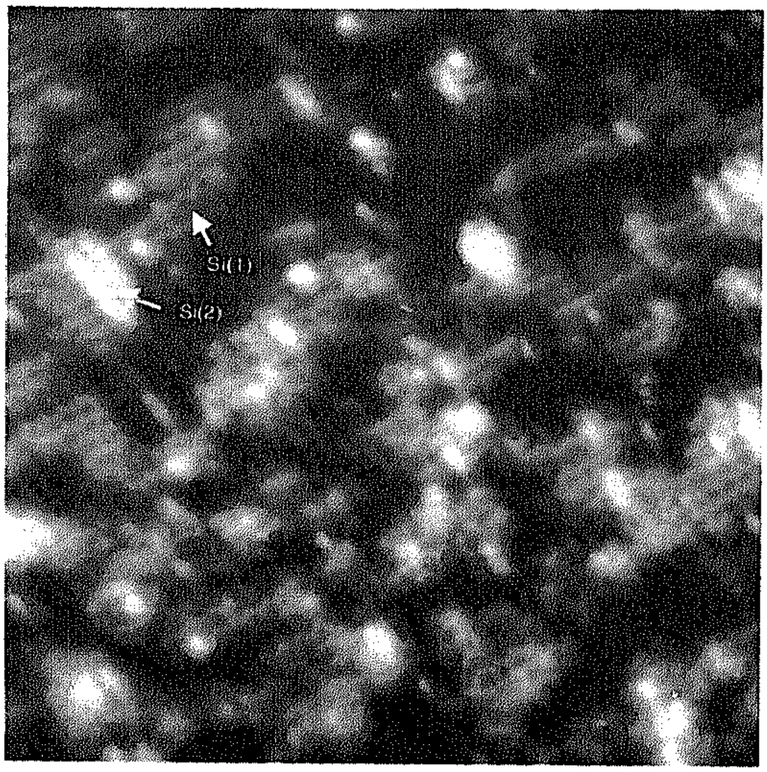

図３：0.35原子層のシリコンを室温で成長させた時の顕微鏡像
島は２層構造（Si(1), Si(2)）走査領域300Å×300Å

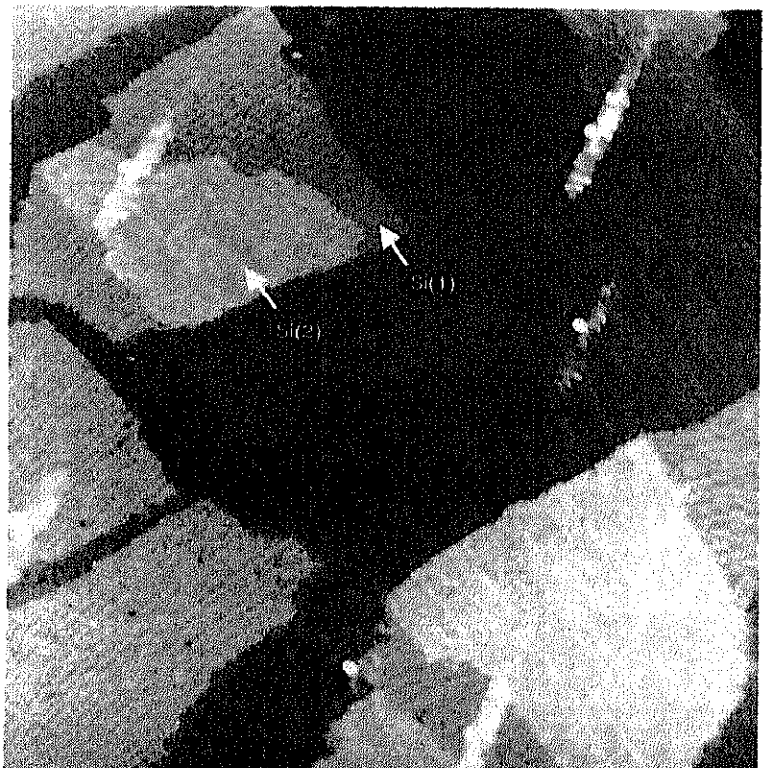

図４：単原子層のシリコンを380℃で成長させた時の顕微鏡像
島は２層構造（Si(1), Si(2)）走査領域2000Å×2000Å

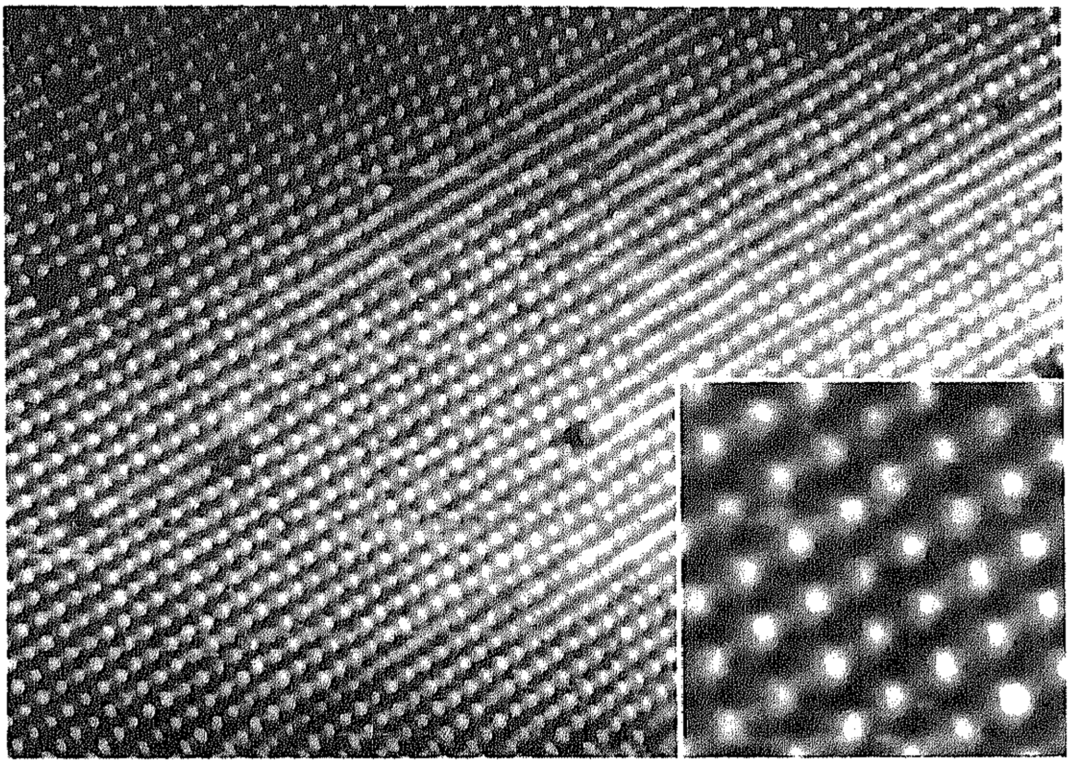

図５：図４左下部の高分解能像、走査領域 350 Å ×250 Å

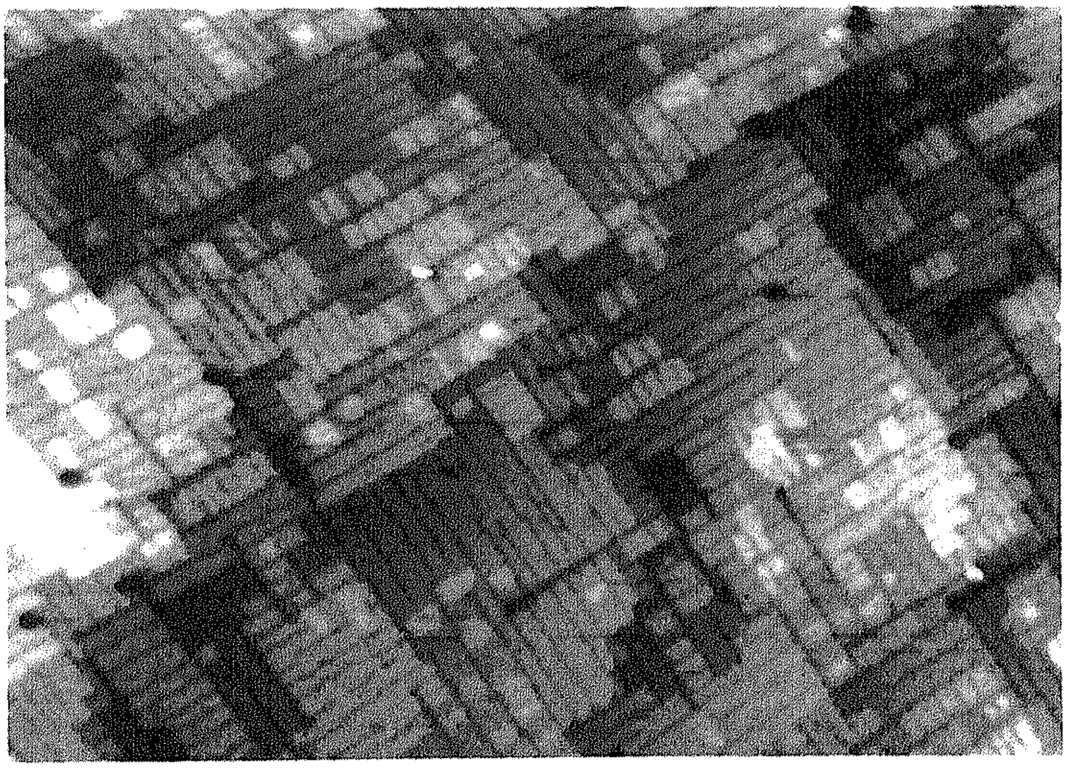

図６：4.2原子層のシリコンを 380℃で成長させた時の顕微鏡像
走査領域 2000 Å ×1400 Å

【2】磁気共鳴による物性研究　（大久保宜昭）

（1）異常スティミュレイティドエコーの発生機構

外部磁場の中に置かれた核スピン系に共鳴周波数で 3 つの高周波パルスをかけると最大 5 コのスピンエコーが観測されるが、磁場勾配中ではさらに多くのエコー（ESE）が見出された。その特性については既に報告したが、発生の機構はまだ解明されていない。ESE の観測は今までスピン 3/2 の系に限られ、かつ ESE の発生には核四重極相互作用より十分大きな双極子相互作用が必要と考えられていた。しかし双極子相互作用を半分に弱めた系でも、ESE の特性に違いがほとんど見られず、スピン 5/2 の系でも核四重極相互作用から生ずる Solomon エコーとともに微弱な ESE が共存していることが新たに分かった。これらの事実は機構解明の一つの手掛かりになると思われる。

（2）低次元化合物のメスバワー効果と磁気共鳴

層状超伝導体 $NbSe_2$ に Fe をドープした $Fe_{1+x}Nb_{3-x}Se_{10}$ のメスバワー効果の四重極分裂には異常な正の温度依存性が見出されていたが、その起源としてｄ軌道を使ったπ結合による機構を指摘し、報告した。（論文 1）

一方、同系列の $Fe_{1/3}NbS_2$ の NMR を調べたところ T_2 の温度依存性に異常が見つかったので、さらに詳しく調べ、この系列の物性の解明を目指している。

（3）Bi 酸化物の NMR

酸化物超伝導体の母相の $BaBiO_3$ はペロブスカイト構造をとる。電子配置からは金属的電気伝導性が期待されるが、実際は半導体的温度依存性を示す。空間群は I2/m であるが、酸素八面体の breathing モードのつくる周期的格子歪と電荷の偏りによる CDW を生じ、そのギャップが半導体的性質をもたらしていると考えられていた。しかし後に赤外ラマン分光やシンクロトロン放射光を使った X 線解析から三斜晶系と結論された。Bi サイトの微視的情報を得るために磁気共鳴による研究を行っているが、現在までのところ ^{209}Bi 核の NMR は観測されていない。^{209}Bi 核の四重極能率は大きいので、対称性が低くなっていれば中心遷移でも、粉末では四重極相互作用によるスペクトルの広がりで観測が困難になる。NQR ではその惧れはないが、広範囲の周波数範囲を探索する必要がある。今までの探索範囲では NQR も見つかっていない。単結晶を調べることも計画している。
（物質工学系との共同研究）

〈論文〉

1) T. Suzuki and N. Okubo: Positive Temperature Dependence of Quadrupole Splittings in Mossbauer Spectra of $Fe_{1.33}Nb_{0.67}Se_{10}$
Z. Naturforsch. 57a, 627-630 (2002).