

Cavendish 研究所における最近の表面科学研究

榎 本 祐 嗣

機械技術研究所 〒305 茨城県新治郡桜村並木1-2

(1980年5月20日 受理)

Surface Science at Cavendish Laboratory, Cambridge — some personal impressions —

Yuji Enomoto

Mechanical Engineering Laboratory, 1-2 Namiki, Sakura-mura, Niihari-gun, Ibaragi 305

(Received May 20, 1980)

This report describes some personal impressions acquired from the Physics and Chemistry of Solids group in the Cavendish Laboratory, Cambridge, where the author spent a year as a Japanese Science and Technology Agency Visiting Fellow studying surface science. Professor David Tabor runs an active PCS group. Research activities related to surface science involve solid-solid interactions such as contact, deformation and adhesion, diffusion in polymers, the nature of adsorbed films, and the first stage of chemical reactions and nucleation, and the fracture of solids.

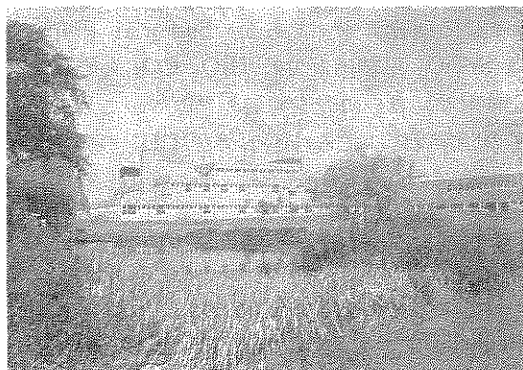
1874年創立来“Nursery of Genius”* とも言われ、多くの著名な物理学者を輩出して近代物理学の発展に多大の寄与をしてきた旧 Cavendish 研究所** は中世のコレッジが集った Cambridge の街中に在り今は出入する人も少なく、ひっそりとしている。創立100年目にあたる1974年の夏から活動の舞台は街の西のはずれにある新しい研究所へと移された。街中の中世のお伽ぎの国のような趣とは異なり、麦畑と牧場に囲まれた新しい建物は Backs の池越しに印象深い景観を呈している(写真)。

新しい研究所は“Rutherford”, “Bragg”, “Mott”

* E. Larsen “The Cavendish Laboratory” 1962 (Edmund Ward, London) の副題にある言葉から。

** 旧 Cavendish 時代の様子や、この小博物館のことは上田隆三、自然 26 (1971) 30 に紹介してあり詳しく知ることができる。

と名づけられた3つの主な建物からなり、最も大きい“Mott”ビルは“固体物理 (Solid State Physics)”グループが占めている。この SSP は5人の教授 (S. Edwards, V. Heine, B. D. Jose-



The Cavendish Laboratory (Mott building) seen from the east, over the lake.

phson, B. Pippard (所長), D. Tabor) と 2 人の名誉教授 (N. Mott, D. Shoenberg) が 5 つのグループ“固体の物理と化学 (PCS)”, “金属物理 (MP)”, “低温物理 (LTP)”, “結晶構造と遅い中性子物理 (CSP)”, “凝縮物質 (Condensed matter) の理論 (TCM)” を率いている。筆者は 1978 年 9 月から翌年 8 月までの一年間, PCS グループ Tabor 教授のもとで在外研究する機会を得た。このグループには Tabor 教授の他に, A. D. Yoffe, J. E. Field, E. A. Davis, W. Y. Liang, H. P. Hughes, M. M. Chaudhri がいて, その他実験助手, 技術者, 学生など含め総勢 50 名を越える大世帯である。研究の内容も“PCS”の名から想像できるように巾が広く, 一応次のように細分されている。

1. Surface properties
2. Polymer physics
3. Strength properties of solids
4. Decomposition in the solid and liquid state
5. Electronic and vibrational properties of low dimensional and other crystalline solids
6. Amorphous materials

さて, 全体的な説明はまずこのくらいに留めよう。次に“表題”について紹介してゆく前に, 筆者の体験は PCS の大世帯の中であって限られた範囲のもので十分書ききれないことを予めおことわりしておきたい。

表面物性

故 F. P. Bowden と D. Tabor 両教授を中心に永年固体の摩擦と表面の変形過程, それに及ぼす雰囲気, 表面の凹凸, 材質などの影響について数多くの丹念な研究が続けられ, 現在の“tribo-physics”の基礎を築き上げてきた。最近では清浄表面間の凝着に及ぼす固体内の微量元素, 吸着酸素, 酸化膜の影響について調べられている。このような実験は超高真空槽内で行なわれる。試料の加熱とスパッタクリーニングを繰返してオージェ分光法で表面の清浄さを確認したのも, 先端半径 $1 \mu\text{m}$ くらいの金属針がある荷重で平面試料に接触させて, その後引き離すのに要する力を測定す

る。また接触電気抵抗の測定から接触面積の変化, さらには走査型電子顕微鏡で表面の塑性変形の様子がその場観察される。

最近の実験で酸素を単分子層程度に化学吸着させた Ni(111) 面と W 針との凝着の挙動は清浄な Ni(111) と W 間の凝着と変りがないという意外な結果が報告されている。

H. P. Hughes らを中心とする表面分析のグループでは AES, LEED, ELS などの分析手法を駆使して清浄固体表面の構造, 初期酸化過程, 吸着素過程の研究が重ねられている。ここ 2, 3 年で取り上げられた対象を列記すると, Mo の初期酸化過程, Mo(100) 上の硫化膜, CuAl_2 金属間化合物のオージェスペクトラムの化学シフト, ダイヤモンド表面への気体の吸着, Fe(100) 上の CBr_4 の吸着などがある。

筆者は D. Tabor 教授の指導でダイヤモンド(100)の摩擦異方性を調べた。〈100〉方向にダイヤモンド針をすべらせたときの摩擦力は〈110〉方向の約 2 倍になる。この現象は古くから知らされていたにもかかわらず, そのメカニズムについては諸説がある。筆者らの実験結果では異方性が現われる臨界荷重はダイヤモンド針の先端半径の 2 乗に比例し, 破壊理論にもとづく Hertz クラックの発生条件とよく一致することが判った。

高分子材料

これまで D. Tabor と B. J. Briscoe を中心としたトライボロジ的な研究が主であった。最近赤外吸収分光を使って高分子の拡散の実験が進められている。高分子の拡散係数は $D_0 \approx 10^{-5} \sim 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{sec}$ で金属の D_0 に比べると非常に小さい。実験にはかなりの日数がかかる。現在, 低密度ポリエチレン中のミスチン酸アミド, ステアリン酸アミドなどの拡散に及ぼすポリエチレンの結晶化度, 拡散物質の分子量, 静水圧の影響が調べられている。

固体の破壊強度

J. E. Field や M. M. Chaudhri を中心とするグループは固体粒子や液滴の衝突, 押し込み圧子の圧入, 高出力レーザ照射による固体表面および表面近傍に発生する破壊クラックの基礎的研究を進めている。このような問題は例のコンコルドな

ど高速飛翔体の材料開発には欠かせない重要な課題である。高速度カメラによる破壊の進展過程の観察、破壊表面エネルギー、応力拡大係数など破壊を特徴づける基礎的パラメータの測定が行なわれている。

その他

A. D. Yoffe, H. P. Hughes らのグループは、層状構造をもつカルコゲナイドなど“低次の固体 (low dimensional solids)”の電子状態、インターカレーションや光学・電気・磁気的性質をX線フォトエミッション、ELS などの分析手法も利用して調べている。また N. Mott によるアモルファス材料の物性に関する先駆的研究は現在 E. A. Davis らに引き継がれ Se, As, As₂Se₃ などの材料の d・c, a・c 電気電導度、光吸収、ルミネッセンスなど諸量の測定が行なわれている。

M. M. Chaudhri や MP グループの M. Brown らはダイヤモンド (Type II) や MgO のカソードルミネッセンスと表面の機械的変形 (塑性変形, クラック) に伴う転位の集積, スリップ

バンドとの関係を発光分光で調べている。



それぞれの研究グループは毎週一度、約1時間のインフォーマルセミナーを開き、各担当者が自分のまとめた研究結果などを紹介する。各国からきているビジターもこれに加えられる。各“学期 (term)”の始めにはこれら“meeting notice”で掲示板が埋められる。これらの中には著名な研究者の招待講演の機会もかなりあって、居ながらにして up-to-date な話題が聞けるのも羨しい。“Bragg”ビルの2階の広い廊下には J. C. Maxwell 以来、Cavendish 実験物理学を築き上げた人達の使った装置が展示され、小博物館となっている。^{**} また、このビルの1階には“Common room (食堂兼喫茶室)”があり午前と午後の2回30分程度、実験の手を休めてティーを飲みながらの議論、談笑の場となっている。このような伝統とゆとりのなかに“Nursery of Genius”はこれからもなお健在である。