

表面力測定装置

Part I. 原理

Hugo K. CHRISTENSON・玉田 薫*

オーストラリア国立大学応用数学科 Canberra, A.C.T. 0200, Australia

*物質工学工業技術研究所 分子工学部 ㊟ 305 茨城県つくば市東 1-1

(1997 年 4 月 3 日受理)

The Surface Force Apparatus

—Part I. Principles—

Hugo K. CHRISTENSON and Kaoru TAMADA

Department of Applied Mathematics, Research School of Physical Sciences and Engineering, Australian National University
Canberra, A.C.T. 0200, Australia*Department of Molecular Engineering, National Institute of Materials and Chemical Research
1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305

(Received April 3, 1997)

The Surface Force Apparatus (SFA) is reviewed. The origin of the technique, from multiple-beam interferometry, tribological studies and measurements of van der Waals forces in air to the versatile instrument of today, is traced. The underlying principles are described while the inherent simplicity of the measurements is stressed. The two chief advantages of the SFA compared to other force-measuring instruments are emphasised—(i) that the zero of separation is accurately determined, and (ii) that the shape of the surfaces and the refractive index of the intervening medium can be monitored with multiple-beam interferometry. For these reasons, the SFA is not only a device for measuring forces, it is a valuable tool for studying surface interactions and thin film behaviour in general.

1. 緒 言

今世紀前半のコロイド・表面科学研究の大半は、表面力の理論に関わるもので、たとえば Hamaker, de Boer, Langmuir, Derjaguin, Landau, Lifshitz, Verwey, Overbeekらの功績はよく知られている。一方、表面間の長距離力である van der Waals 力や電気二重層に関する理論的予測が実験的に検証されたのは、それからかなり後であった。20 世紀末の現在、ようやく実験は理論を追い越したと言われるようになった。表面力測定の結果には、未だ理論的に十分に理解されていないものも少なくないが、今やほとんどの場合、理論的な予測を試みるよりも、特定の系の表面力を実際に測定してしまった方が容易である。

この劇的な転機は、ひとつの測定装置—“表面力測定

装置”(Surface Force Apparatus, SFA)の開発によってもたらされたものである。過去 20 年間にこの装置により得られた知見は、我々の表面力に関する理解を完全に革新するものであった。

SFA は、1940 年から 1970 年にかけての英国の一連の科学的発展の結果、生まれたものである。ロンドン大学の Tolansky は銀蒸着表面を用いた多重ビーム干渉法を開発した¹⁾。彼は古典的 Fabry-Perot 型干渉計のしくみを結晶の表面形状の研究に用いて、非常に高感度な厚み測定($\sim 3 \text{ \AA}$)が可能であることを示した。この技術は天然の白雲母(Muscovite mica)へき開面の評価に利用された。ケンブリッジ大学の Bailey と Courtney-Pratt は、その後表面間のせん断の研究に、交差しておかれた円筒状マイカシートと多重ビーム干渉法とを組み合わせ使用した²⁾。彼らは、マイカ-マイカ接合点でのせん断強

度、およびステアリン酸カルシウムで被覆することによる潤滑効果について研究した。

マイカの表面エネルギーは、かなり前に Obreimoff が直接へき開法により測定しており³⁾、その後 Bailey と Kay がそれを追試、発展させた⁴⁾。彼らは、マイカへき開面のへき開位置近傍の表面状態について、多重ビーム干渉法を用いて研究した⁵⁾。へき開位置周辺の表面の形は、ギャップ間に働く表面力に依存するので、これは実際大気中での van der Waals 力測定に相当する。その後、表面力測定装置の第 1 号機が、大気中での van der Waals 力の測定のために、Tabor と Winterton によって設計された⁶⁾。相互作用における遅延効果*に関する彼らの測定結果は、van der Waals 力の Lifshitz 理論からの予測とよく一致した。その後、Israelachvili と Tabor が van der Waals 力測定用に改良を加え、第 2 号機を作製した⁷⁾。最後に、液中でマイカ表面間に働く力を測定するための装置のデザインが、Israelachvili と Adams により発表された⁸⁾。それ以外にも、表面間距離測定に多重ビーム干渉法を用いたさまざまなデザインの装置が開発され、論文で紹介されている^{9~11)}。

多様な表面測定法が使用されるようになった現在でも、SFA は表面力と薄膜の研究の第一線の地位を保っている。SFA は、距離の絶対ゼロ値を曖昧さなく測定できる特長と、表面間の媒体の屈折率を測定できる特長とを合わせ持っている。そのため、SFA には単に表面力を測定する装置以上の価値があり、たとえば、固体表面間に閉じ込められた液体や気体薄膜の性質を研究するのに非常に適している。摩擦や潤滑^{12~14)}、粘性^{15~17)}、接着^{18~20)}、表面の変形^{21~23)}、相転移^{24~26)}、電気化学²⁷⁾、分光学^{28, 29)}などの多数の応用例がある。

2. 力の直接測定の必要条件

距離の関数として 2 つの表面間に働く力を直接測定するためには、3 つの基本的な必要条件がある。第一に、適当な大きさ・形に調整できる平滑な表面、第二に、表面間の距離を正確に制御および計測する手段、そして第三に、与えられた表面間距離で力を測定する手段が必要である。

2.1 表面と形状

天然の muscovite マイカは、表面力測定用基板として必要な基準を完全に満たしている。マイカはアルミノケイ酸塩の層状物質で、分子オーダーで平滑なミクロンオーダーの厚みの均一薄膜（面積： $\sim \text{cm}^2$ ）に容易にへき

開できる。マイカは充分に弾性的で、曲率を持った表面上に曲げて設置することができ、その結果、平面基板を用いた際に生じる光学系の調整の問題を回避することができる。マイカ表面は不活性で、ほとんどすべての有機溶媒により浸食されない他に、通常の実験条件下では、水溶液や大気による膨潤は認められない。したがって、2 つの対面するマイカ間のコンタクト、即ち表面間距離ゼロの位置が、実験中に変化しない。これは近距離力の詳細について研究する上で、貴重な特徴である。

2.2 距離の測定及び制御

白色光が平行におかれた 1 対の反射面を通過する時、ほとんどの波長の光は干渉により消され、特定の波長の光だけが反射面を透過する^{1, 30~32)}。これらの光は、スペクトロメーターで非常にシャープな等色次数干渉縞 (Fringes of Equal Chromatic Order (FECO)) に波長分解され、その波長は鏡面間の距離と鏡面間の媒体の屈折率の両方に関する情報を与える。裏面に銀蒸着した 1 対のマイカ面の FECO は、マイカシート間の距離を測るのに理想的な方法であり、2 枚のマイカシートがコンタクトした時、表面間距離ゼロが確実に得られる。表面の変形、表面形状の変化や不規則性のような特徴も、容易に検出可能である。この手法により、距離と屈折率の両方が独立して決められるので、表面間の媒体の状態に関する極めて有効な情報を得ることができる。Fig. 1 は接触 (in contact) および非接触 (out of contact) 状態での、相互作用しあう表面間の FECO 形状の例である。

多重ビーム干渉法で到達できる距離測定の精度は、最適条件下で約 0.1 nm である。高い精度を得るためには、高反射率の銀薄膜の使用と、十分な光学系の調整が必要である。表面に挟まれた媒体の屈折率は、隣接したフリンジ間の波長シフトの比の平方根に比例するので (Fig. 1)、屈折率測定の精度はマイカ-マイカ間の距離に依存する。たとえば、マイカ間距離 100 nm で得られる精度 $\pm 0.2\%$ が測定の最高精度で、マイカ間距離が 10 nm になると、精度は $\pm 1\%$ まで低下する。

距離の微妙な調整はピエゾ素子の伸縮により行われ、ほとんど任意の高い精度で位置設定が可能である。

2.3 力の測定

力の最もシンプルな測定法は、機械的ばねの変位を使う方法である。ばねの変位を測る精度ある手法がある場合（ここでこれは干渉フリンジ法を指すが）、ばね定数に関する情報さえあれば、フックの法則によって力を測定することが可能である。ばねのデザインはこの手法の重要な要件のひとつである。市販の原子間力顕微鏡 (AFM) および類似装置で使われているようなシングルのカンチレバースプリング (leaf spring) を用いた場合、

* 遅延効果：原子間距離が増大すると van der Waals 力が理論からの予測よりも速く減衰しはじめる。これを「遅延効果」と呼ぶ。

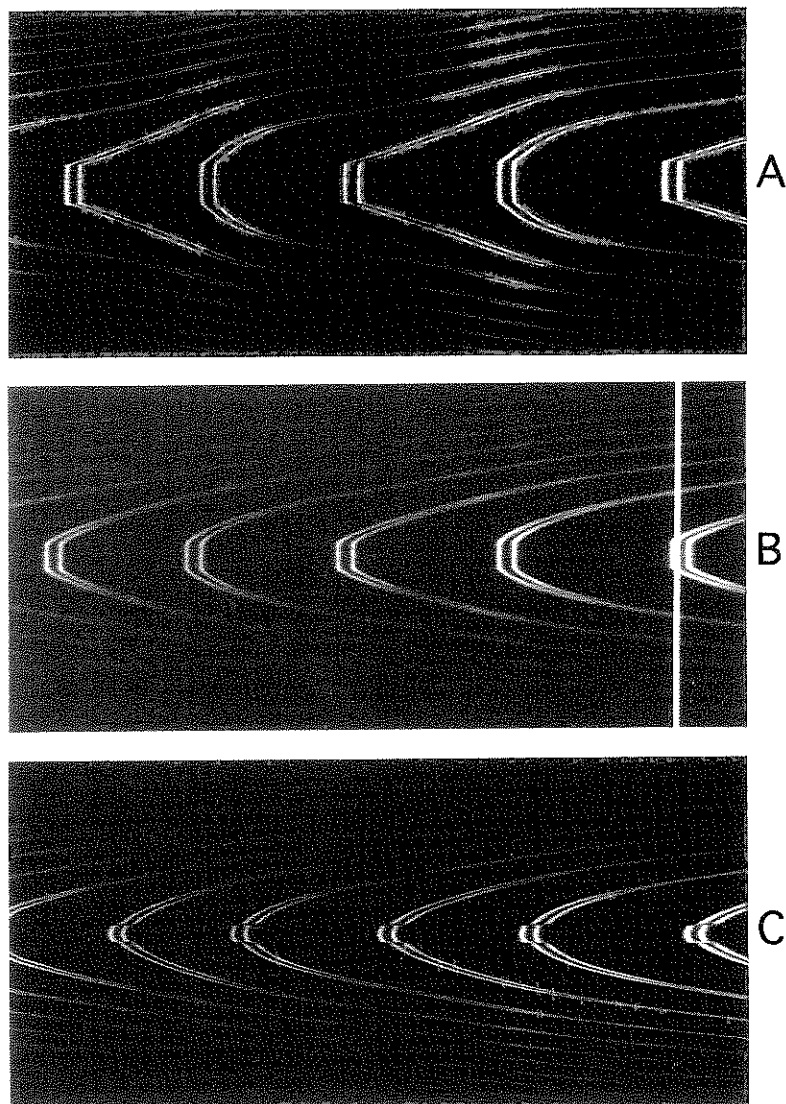


Fig. 1 Interference fringes photographed (ISO 400, 20 s exposure) at the exit slit of a grating spectrometer. Increasing wavelength is towards the right. Note that each fringe is a doublet due to the birefringence of the mica sheets. See Fig. 3 for a depiction of the surface configuration. A: Mica surfaces in contact in dry nitrogen, just before separation from strongly adhesive contact. Note the different shapes of the odd and even order fringes (the even order fringes are more rounded), the flattened contact zone (where the spectral lines are vertical) and the very sharp corners at the edge of the contact. The diameter of the flattened contact zone is about 60 μm . B: The same surfaces in contact in octamethylcyclotetrasiloxane (OMCTS) containing dissolved water. Although the adhesion is almost as large as in A, it is distributed over a large area outside the flattened contact, in a capillary-condensed annulus (as illustrated in Fig. 3 C, but barely visible on the fringes given the resolution of the reproduced photograph). Consequently, the fringes bend less sharply at the edge of the contact region. Note also that the odd and even order fringes are harder to distinguish because the refractive index of the medium is closer to that of mica. The bright vertical line is the mercury green line at 546.1 nm, used as a reference. C: The surfaces separated about 400 nm in OMCTS, with a bridge of condensed water joining them. The discontinuous change in the refractive index at the perimeter of the water bridge shows up as a discontinuity on the fringes. See Fig. 3 B for an illustration of the surface configuration.

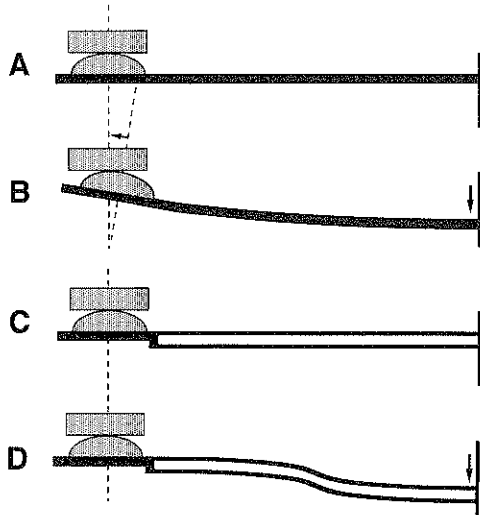


Fig. 2 When a single-cantilever spring deflects, as when two surfaces are separated from adhesive contact, the lower surface tilts and the point of contact shifts laterally (A and B). This means that the measured adhesion depends on the friction between the surfaces, and is often very much lower than when a non-tilting, non-sliding double-cantilever spring is used (C and D).

歪みや回転によるアーティファクトの影響を受けやすい¹⁸⁾。しかし、SFA の場合、巨視的な表面を使うことで、容易に状態を最適化することができる。一方、ダブルカンチレバースプリングを用いると、Fig. 2 に示した通り、傾くことなしに変位することが可能である。

表面の相対的変位（メカニカルな表面移動距離と干渉プリングによる距離読み取りとの相関）は、表面力が作用していないような、表面間が大きく離れた状態でキャリブレーションできる。近距離で起こるキャリブレーションラインからの変位率の逸脱は、表面力によるものと理解され、この時の力は逸脱距離とばね定数とを掛けることで単純に計算できる。ばね定数は、片側表面に小さな重りを乗せ、予め測定しておく。

3. 表面力測定装置 (Surface Force Apparatus: SFA)

SFA では、裏面に銀蒸着した 2 枚のマイカ表面（面積約 1 cm²）を、曲率半径 $R=2$ cm の研磨された円筒状の石英ディスク上にエポキシ樹脂ではりつけて用いる。

両表面は円筒が交差するように置かれ、これは平面上におかれた球と等価な配置である (Fig. 3 A)。2 つの曲面間で測定される力 F は、平行で平坦な表面間の単位面積あたりの相互作用自由エネルギー (Gf) に比例す

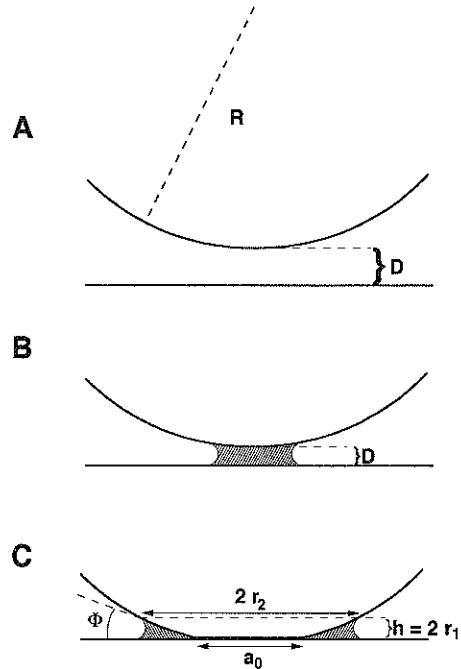


Fig. 3 A: The crossed cylinders are equivalent to a sphere on a flat, and in the surface force apparatus the radius of curvature R is typically 2 cm. For surface separations $D \ll R$ the measured force is proportional to the free energy of interaction per unit area between parallel, flat surfaces (eq (1)). B: The interference fringes allow the direct detection of phase changes in the interlayer between the surfaces, as when a bridge of condensed liquid forms from vapour, or from a solution in another liquid. C: When the surfaces are in adhesive contact, as when a capillary condensate has pulled them into contact, extensive flattening takes place. The diameter a_0 of the contact zone is of the order of 50 μm . The radii of curvature of the annular capillary condensate are of the order of $r_2 \approx 50 \mu\text{m}$ and $r_1 \approx 50 \text{ nm}$. The effective wedge angle Φ is about 0.1° .

る³³⁾。

$$F = 2 \pi R G f \quad (1)$$

第 1 の表面（ディスク）は円柱状のピエゾ管 (Figs. 4, 5) の末端に固定され、電場印加によるピエゾの伸縮によって表面間距離の微調整をする。Mark IV 標準機には最大変位 1.6 μm のピエゾ管を用いている¹⁰⁾。

第 2 の表面は、設置上様々な選択が可能である。大抵の実験では、変位の最中に歪みにくいダブルカンチレバースプリングが用いられる¹⁸⁾。非常に硬いばねを使用する場合、歪みは無視できる程度なので、シングルのカンチレバーも使用可能である。たとえば、吸着（屈折率の変動で検出が可能）、表面変形、毛管凝縮、空洞現象な

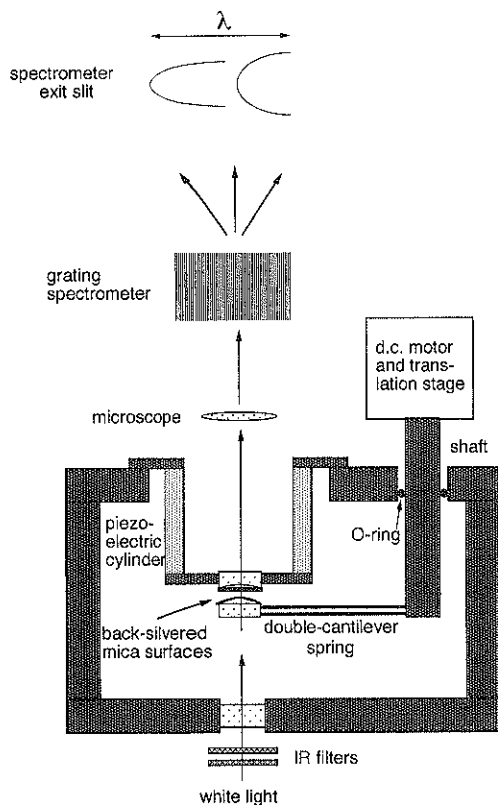


Fig. 4 Schematic diagram of simplified Mark IV surface force apparatus, as described in refs 53, 54. The surfaces are glued to polished silica discs, the upper of which is mounted at the end of a cylindrical piezo-electric tube. The lower surface is held at the end of a force-measuring double-cantilever spring (or a rigid, single-cantilever beam), which is positioned with a d.c. motor driving a translation stage outside the chamber. Heat-filtered white light enters from below via a silica window, and the emerging light beam is focussed onto a spectrometer slit and the resolved fringes (see Fig. 1) are observed at the exit slit, by eye or with a video camera.

ど、表面力以外の研究に用いる多くの場合、硬い支持体は、非常に便利である。

メカニカルな位置制御は、硬いシャフトを通じて、第2の表面とばね上で行われる。このシャフトは、チャンバーと外部とのシール用のOリング（あるいはフレキシブルダイヤフラム）を介して、チャンバー内に組み込まれる（Fig. 4）。粗い位置設定は、d.c. モーター駆動のマイクロメーターと、ベルト付きギアボックスによって行われる。マイクロメータースクリューに過剰な横方向の力がかからないように注意すれば、このシンプルな装置で、500 Å (0.05 μm) 以上の精度での表面の位置制

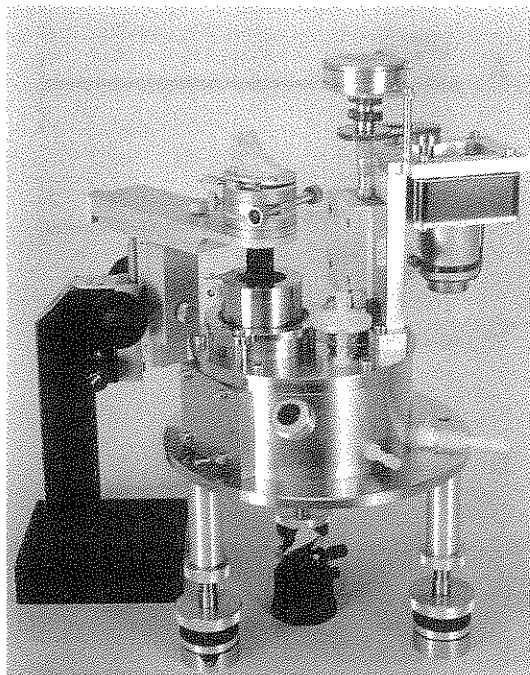


Fig. 5 Photograph of Mark IV SFA, showing basic apparatus with coarse control motor drive (no differential spring), with the microscope stand on left (for focussing and directing emerging light beam) and a mirror under the apparatus (for directing incident light beam onto the surfaces).

御が可能である。モーター駆動マイクロメーターとピエゾ素子の駆動範囲が重なるので、中間的な位置制御機構は厳密には必要でないが、SFAの多くのバージョンでは、差動スプリングシステムが中間的な位置制御のために付属している。ただし差動スプリング法には、振動が発生するという重大な欠点がある。振動は力の大きさに影響を与え、時にその差は本質的なものとなり得る。振動のため、表面は低いエネルギー状態へ向かう非平衡なパスを見つけ、その結果、局所的な力の極大と極小の大きさは、小さく見做られがちになる。

SFAにはいくつかの型式があるが、その主な違いは表面の相対的位置や駆動機構の他、チャンバー細部の形やサイズである。入射白色光を導入するためのミラーおよび透過光をスペクトロメーターのスリットに集光するための顕微鏡を含めたSFAの新型機Mark IVの写真を、Fig. 5に示した。すべてのSFA装置は、(1) 距離の測定のためのビーム干渉、(2) 力測定のためのばね変位、(3) ピエゾ素子による微妙な位置調整、これらのすべての要求に答えられるようデザインされている。最近では、位置決めと力測定が、磁気デバイスで行われる装置も開発

されている^{34, 35)}。小さな、しかし非常に強力な稀土類磁石を表面近くのスプリングの末端に取り付け、装置外部の1ないし2個のコイルにより発生した磁場勾配によりスプリングを変位させるというもので、この方法により、非常に優れた直線の変位が得られるが、腐食からの磁石の保護が問題になっている。

4. ま と め

表面力測定装置(SFA)は、他の力の直接測定法に優る2つの重要な特長を持つ。ひとつは、多重ビーム干渉法を表面間距離測定へ利用したことにより、表面間距離ゼロを曖昧さなく決定できることである。また、表面間の媒体の屈折率が独立して測定できるため、表面間の分子層の相転移の検出や、相互作用による表面変形の検出が可能である。たとえば、粒子のようなたくさんのアーテファクトの発生を、直接にモニターする手段にもなる。これらの2つの特長故に、この装置は他に類をみないほど多才で、さまざまな界面化学研究が、SFAを用いて行われている。

本解説のPart IIでは、SFAの基本的な応用例として、表面加工されていないマイカ表面を用いた、気体、蒸気、液体、混合液体の研究について紹介する。測定基板としては、マイカ以外にも、サファイア³⁶⁾、シリカ^{37, 38)}、ポリマー^{39, 40)}の表面や、マイカ上に累積されたLB膜^{41~45)}などが使用されている。また、たとえば表面活性剤^{46, 47)}や蛋白質⁴⁸⁾、ポリマー⁴⁹⁾を含む溶液から、サーモトロピック⁵⁰⁾およびリオトロピック液晶⁵¹⁾、原油⁵¹⁾や唾液⁵²⁾のような自然の流体に至るまで、より複雑な多種多様の液体が測定に使用されている。そのうちの数例が、この特集号の他の解説記事において紹介されるであろう。

謝 辞

本文作成にあたり、有益なコメントをいただいた Ying Qiao 氏、Markus Kohonen 氏に感謝する。

文 献

- 1) S. Tolansky: "Multiple-Beam Interferometry of Surfaces and Films" (Clarendon, Oxford, 1948).
- 2) A.I. Bailey and J.S. Courtney-Pratt: Proc. R. Soc. A **227**, 500 (1950).
- 3) J.W. Obreimoff: Proc. R. Soc. A **127**, 290 (1930).
- 4) A.I. Bailey and S.M. Kay: Proc. R. Soc. A **301**, 47 (1967).
- 5) F.P. Bowden and D. Tabor: "The Friction and Lubrication of Solids" (Clarendon, Oxford, 1964).
- 6) D. Tabor and R.H.S. Winterton: Proc. R. Soc. A **312**, 435 (1969).
- 7) J.N. Israelachvili and D. Tabor: Proc. R. Soc. A **331**, 19 (1972).
- 8) J.N. Israelachvili and G.E. Adams: J. Chem. Soc. Faraday Trans. I **74**, 975 (1978).
- 9) J. Klein: J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1 **79**, 99 (1983).
- 10) J.L. Parker, H.K. Christenson and B.W. Ninham: Rev. Sci. Instrum. **60**, 3135 (1989).
- 11) J.N. Israelachvili and P.M. McGuiggan: J. Mater. Res. **5**, 2223 (1990).
- 12) A.M. Homola, J.N. Israelachvili, M.L. Gee and P.M. McGuiggan: J. Tribol. **111**, 675 (1989).
- 13) J. van Alsten and S. Granick: Phys. Rev. Lett. **61**, 2570 (1988).
- 14) J. Klein, E. Kumacheva, D. Mahalu, D. Perahia and L.J. Fetters: Nature **370**, 634 (1994).
- 15) D.Y.C. Chan and R.G. Horn: J. Chem. Phys. **83**, 5311 (1985).
- 16) J.N. Israelachvili: J. Colloid Interface Sci. **110**, 263 (1986).
- 17) J.N. Israelachvili, S.J. Kott and L.J. Fetters: J. Polymer Sci. Phys. **27**, 489 (1989).
- 18) H.K. Christenson: J. Colloid Interface Sci. **121**, 170 (1988).
- 19) Y.L. Chen, C.A. Helm and J.N. Israelachvili: J. Phys. Chem. **95**, 10737 (1991).
- 20) H.K. Christenson: J. Phys. Chem. **97**, 12034 (1993).
- 21) R.G. Horn, J.N. Israelachvili and F. Pribac: J. Colloid Interface Sci. **115**, 480 (1987).
- 22) D. Maugis and B.G. Manuel: J. Adhesion Sci. Technol. **8**, 1311 (1994).
- 23) J.M. Levins and T.K. Vanderlick: J. Phys. Chem. **99**, 5067 (1995).
- 24) H.K. Christenson, J. Fang and J.N. Israelachvili: Phys. Rev. B **39**, 11750 (1989).
- 25) P. Petrov, U. Olsson, H.K. Christenson, S. Miklavic and H. Wennerström: Langmuir **10**, 988 (1994).
- 26) H.K. Christenson: Phys. Rev. Lett. **74**, 4675 (1995).
- 27) F.-R.F. Fan and A.J. Bard: J. Am. Chem. Soc. **109**, 6262 (1987).
- 28) R.D. Neuman, S. Park and P. Shah: J. Phys. Chem. **98**, 12474 (1994).
- 29) P. Mächtle, C. Müller and C.A. Helm: J. Phys. II (France) **4**, 481 (1994).
- 30) J.N. Israelachvili: J. Colloid Interface Sci. **44**, 259 (1973).
- 31) M.T. Clarkson: J. Phys. D **22**, 475 (1989).
- 32) R.G. Horn and D.T. Smith: Appl. Opt. **30**, 59 (1991).
- 33) B.V. Derjaguin: Kolloid-Z. **69**, 155 (1934).
- 34) A.M. Stewart and H.K. Christenson: Meas. Sci. Technol. **1**, 1301 (1990).
- 35) J.L. Parker and A.M. Stewart: Progr. Colloid Polym. Sci. **88**, 162 (1992).
- 36) R.G. Horn, D.R. Clarke and M.T. Clarkson: J. Mater. Res. **3**, 413 (1988).
- 37) R.G. Horn, D.T. Smith and W. Haller: Chem. Phys. Lett. **162**, 404 (1989).
- 38) G. Vigil, Z. Xu, S. Steinberg and J.N. Israelachvili: J. Col-

- loid Interface Sci. **165**, 367 (1994).
- 39) J.-E. Proust, E. Perez, Y. Segui and D. Montalan: J. Colloid Interface Sci. **126**, 629 (1988).
- 40) V.S. Mangipudi: J. Colloid Interface Sci. **175**, 484 (1995).
- 41) J. Marra and J.N. Israelachvili: Biochemistry **24**, 4608 (1985).
- 42) K. Kurihara, T. Kunitake, N. Higashi and M. Nina: Thin Solid Films **210/211**, 681 (1992).
- 43) P. Berndt, K. Kurihara and T. Kunitake: Langmuir **11**, 3083 (1995).
- 44) J. Wood and R. Sharma: Langmuir **11**, 4797 (1995).
- 45) M. Hato: J. Phys. Chem. **100**, 18530 (1996).
- 46) H.K. Christenson: "Modern Approaches to Wettability: Theory and Applications", ed. by M.E. Schrader and G. Loeb (Plenum, New York, 1992).
- 47) R.-H. Yoon and S.A. Ravishankar: J. Colloid Interface Sci. **179**, 391 (1996).
- 48) P.M. Claesson, E. Blomberg, J.C. Fröberg, T. Nylander and T. Arnebrant: Adv. Colloid Interface Sci. **57**, 161 (1995).
- 49) S.S. Patel and M. Tirrell: Annu. Rev. Phys. Chem. **40**, 597 (1989).
- 50) R.G. Horn, J.N. Israelachvili and E. Perez: J. Phys. (Paris) **42**, 39 (1981).
- 51) J. Fang and H.K. Christenson: J. Dispersion Sci. Technol. **11**, 97 (1990).
- 52) T. Nylander and T. Arnebrant: Colloids Surf. in press.
- 53) H.K. Christenson and V.V. Yaminsky: Langmuir **9**, 2448 (1993).
- 54) J.E. Curry and H.K. Christenson: Langmuir **12**, 5729 (1996).

Bookstand

分子間力と表面力 第2版

J.N. イスラエルアチヴィリ 著 近藤 保/大島広行 訳

発行 朝倉書店 (1996年10月1日) A5判 427ページ 6,090円(本体価格5,800円)

どの分野にも、そこでバイブルと呼ばれるような教科書がある。本書もそのようなバイブルの一冊である。我々の身の回りには、粘土、ミルク、インク、接着剤、潤滑剤、シャンプー、生体膜など、改めて考えると不思議なふるまいを示すものがたくさんある。そのふるまいを決めているのは、元をたどれば、そこに含まれている分子、分子集合体、巨視的粒子などの間の相互作用力である。本書は、この相互作用力すなわち「分子間力と表面力」を包括的にしかも統一的に解き明かした教科書である。コロイド、電気二重層、界面活性剤、ミセル、ベシクル、高分子、生体膜、これらの言葉になんらかの形で関わっている研究者にとっては必読の書といえよう。本書の扱うテーマは化学、物理学、生物学などの垣根を超えたものであり、必然的に本書は従来の学問区分を横断する統合科学書とでもいうべき性格を持っている。

本書の第1版は1985年(日本語訳は1991年)に出版され、1980年前半までの研究成果が教科書向きに編成された。その後、分子間力および表面力の研究に続いた著しい発展を受け、1992年に第2版が出版された。本書は待望されていたその日本語訳である。

第1版からは140ページほど追加され、総ページ数427ページの充実した教科書となった。表面力測定装置(SFA)を始めとして分子間力や表面力を直接測定できる装置が80年代後半に実用段階に達したのをうけ、旧版で「未知である」「いまだ十分に理解されていない」と記述されていた部分が、第2版では新しい実験データをもとにとも無げに解説されている。SFAは原著者自身の開発した装置でもありその思い入れはひとしおである。特に旧版の13章「溶媒と相互作用と立体相互作用」は全面加筆され、二つの章に分割された。また17章「脂質二重層間および生体膜間」においても、電気二重層力、水和力、立体力、疎水性力について新しい実験データが加えられ、それぞれが節として独立した。この他にも、各所に思慮深いコメントが加えられ、図表や例題、章末練習問題も追加されて充実した内容となっている。

座右の書としてぜひそろえたい一冊である。

(恩田智彦)