

OVERSEAS REPORT (1)

Stanford 大学の放射光実験施設と

日本のフォトン・ファクトリー

太 田 俊 明

高エネルギー物理学研究所 〒305 茨城県筑波郡大穂町上原 1-1

(1980年5月20日 受理)

Synchrotron Radiation Facility of Stanford and the Photon Factory in Japan

Toshiaki Ohta

Photon Factory, KEK (National Laboratory for High Energy Physics)

1-1 Uehara, Ohho-machi, Tsukuba-gun, Ibaragi 305

(Received May 20, 1980)

The activities of SSRL (Stanford Synchrotron Radiation Laboratory) at Stanford and the Photon Factory Project in Tsukuba are briefly reviewed. Solid surface physics experiments in SSRL are performed exclusively on a 8° beamline (Seya-Namioka, $5 < h\nu < 40 \text{ eV}$) and a 4° beamline (Grasshopper, $60 < h\nu < 1000 \text{ eV}$). Photoelectron spectroscopy using synchrotron radiation as a light source has been used as a powerful tool for studying surface electronic structures of metal and semiconductors. Surface EXAFS is worthy of note as a new technique to use to help understand the structures of solid surfaces.

The Photon Factory is the synchrotron radiation facility attached to KEK. Synchrotron radiation from a 2.5 GeV electron storage ring is introduced into the experimental hall by six beam-channels, each of which is split into 3~4 beamlines. More than 20 experimental apparatuses will be installed. One beamline is provided exclusively for spectroscopic studies of solid samples. It will be completed by the end of the 1981 fiscal year.

高速の電子が円軌道を描くとき、その接線方向に赤外からX線に到るまでの強力な光を放出する。この放射光 (Synchrotron Radiation) は従来の光源にないユニークな特徴をもっていることから、物質科学の新しい光源として注目された。そして最近、世界各地で放射光実験施設の建設が次々と進められている。わが国でも筑波の高エネルギー研究所の附属施設として「フォトン・ファク

トリー」と呼ばれる放射光実験施設の建設が1981年完成予定で、急ピッチに進行している。筆者はこの建設計画に参画している一人として、1978年10月より一年間、Stanford大学の放射光実験施設に滞在する機会を与えられた。そこでここでは、Stanfordの実験施設の紹介と我国のフォトン・ファクトリーの概要について述べたい。

Stanfordにある高エネルギー研究所 SLAC

は、2マイルという世界最長の線型加速器があることで有名であるが、この中にSPEARと呼ばれるストレージリングがある。このリングは通常、電子エネルギー 2.5~3.5 GeV、電流 20~40 mAで運転されるので、これから約0.1 Åまでの短波長の放射光がでてくる。これに目をつけた物質科学者達は1975年頃よりこのリングに寄生して放射光実験施設(SSRL)を作った。最初一本のビーム取り出し口を作り、これをミラーでふりわけて5つの実験ステーションを建設した。これらを利用し、光電子分光やEXAFS等で華々しい成果をあげたことから、SSRLは次々にビームラインの増設や実験ホールの増設を始めた。筆者の滞在した期間はSSRLにとって飛躍発展の時期であり、Fig. 1に示すように北側(図の下側)の実験ホールに加えて、新しく南側(図の上側)の実験ホールが完成し、そこに3本のビームラインが新しく建設中であった。その中の一本はWigglerラインと呼ばれるもので、短い間隔を強い磁場によって7回電子軌道を波打たせることにより、通常の電磁石よりも短波長までの光を数倍の強さで供給する。このWigglerの運転に世界で初めて成功したことも、SSRLを活気づけることに大きく寄与した。

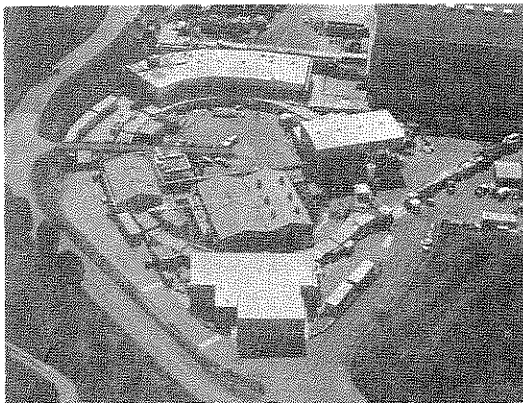


Fig. 1.

Storage ring SPEAR and Stanford Synchrotron Radiation Laboratory in SLAC.

さて、筆者が実際に利用したのは第1ビームラインの2つの実験ステーション、即ち9°ビームラインと4°ビームラインである。前者は放射光を8°垂直にふり上げ、2個のミラーで垂直、水

平収束を行ない、瀬谷・波岡型垂直分散分光器で分光した5~40 eVの光を供給する。後者は放射光を4°水平に曲げ、grasshopper型斜入射分光器で分光した、60~1000 eVの光を供給する。このような領域の光を供給する実験ステーションは現時点では世界になく、従ってこの4°ビームラインでの実験がSSRLの大きな特徴となっている。

SSRLで責任をもつのは、これらモノクロメータまでであり、ユーザーは測定用の真空槽、検出システム等を持ち込んで実験することになる。この2つの実験ステーションの代表的なユーザーは以下のグループである。

(1) W. Spicerら Stanford大学のグループ(金属、半導体表面の光電子放出の研究) (2) D. Shirleyら U. C. Berkeleyのグループ(金属の角度依存光電子分光、気体の飛行時間差法による光電子分光) (3) R. Bachrachら Xeroxのグループ(半導体の光電子放出, SEXAFS) (4) I. Lindauおよび J. Stöhrら SSRLのグループ(SEXAFS, 光イオン化断面積の励起光依存性等)

ここでは、固体表面研究に話題を絞って(1)と(4)の概要を述べよう。

Spicerは古くから固体の光電子放出の問題を手がけて来ているが、最近の主な興味は、SiあるいはIII-V族半導体(GaAs, GaSb, InP, InAs)の表面酸化, Au, Cs, Al等金属蒸着による表面電子状態の変化を調べることにある。方法は、超高真空下(10^{-10} Torr以下)で結晶をへき開いて清浄表面を作り、ガス圧や金属蒸着速度をコントロールして、はっきりと状態のわかった表面を作り出して、AES, LEEDなどを供用して光電子スペクトルを測定するものである。放射光を光源とした光電子分光実験の大きな長所は、任意の波長の光を光源として選ぶことができることにある。良く知られているように、光イオン化断面積の励起光エネルギー依存性は、元素のイオン化準位によって著しく異なっている。また、光電子の脱出深度はとびだす電子の運動エネルギー、したがって、励起光のエネルギーによって大きく変化する。これらのことを利用すれば、表面感度を大きくあげたり、表面に吸着した原子、分子の

関係したピークを選択的にとりだすことができる。彼等はこのような利点を大いに利用して数多くの興味ある研究を行なっている。筆者もこのグループに加わって、ダイヤモンド表面からの光電子放出の実験を行なった。ダイヤモンドはシリコンと同じ構造をもち、電子状態も似ているが、それ特有の興味ある性質（例えば、非常に高い量子収率）もいくつか見出された。

一方、SEXAFS は、表面感度の高い Auger 電子や二次電子の光エネルギー依存性を測定することによって、表面近傍の構造に関する知見を得ようとする新しい方法である。4° ビームラインは O, N, C などの低原子番号の元素の SEXAFS を可能にしてくれる。最近、J. Stöhr らは、Ni, Al, Si に化学的吸着した酸素について、500 ~ 900 eV の光エネルギー領域で収量スペクトルを測定し、酸素と金属の結合距離、配位の仕方などを決定している。必然的に S/N, S/B が悪く、信頼できるデータを得るのは難しいが、得られる情報は極めて重要であり、今後の発展が期待される。

我国のフォトン・ファクトリーは1977年より4カ年計画でスタートした大型のプロジェクトである (Fig. 2, 次頁参照)。これは、線型加速器、ストレージリング、実験棟、研究棟から成っている。

線型加速器は長さが 400 m (世界で2番目の長さ) であり、電子銃からでた電子を 2.5 GeV まで加速する。電子ストレージリングは平均半径 60

m の長円形をしており、2.5 GeV の電子を 500 mA で約 10 時間貯め込んでおく。これからでてくる放射光を6個のビームラインから取り出し、実験棟に導く。これらはそれぞれミラーを用いて3~4本に枝分かれして、合計で20以上の実験ステーションができあがる予定である。6本のビームラインの内、1本は垂直偏向型の Wiggler からのもので、0.1 Å 以下の短波長の強力な光を供給し、主として、X線量子光学、X線トポグラフィ、構造解析用の装置が設置される。2本は硬 X線用で、筋肉の小角散乱、極端条件下の X線回折等の装置が設置される。また、軟 X線と硬 X線の間領域用に1本のビームラインが用意されていて、主として、X線リソグラフィ、マイクロコピーなどの開発研究が行なわれる。残りの2本が極紫外、軟 X線用のビームラインで、吸収、反射、光電子分光等の各種分光実験が行なわれる。この中の1本はガス専用であり、他の1本は固体専用である。固体表面の研究は専らこのビームラインで行なわれることになる。現在の案では、瀬谷型分光器 (5 ~ 40 eV)、トロイダル回折格子分光器型 (40 ~ 250 eV)、grasshopper 分光器 (40 ~ 800 eV)、軟 X線用二結晶分光器 (550 ~ 4000 eV) の4種の分光器が計画されている。現在、それぞれの実験ステーションについてワーキンググループを組織し、どのような装置を作るか検討することを始めている。表面科学関係の皆さんの積極的な参加をお願いしたい。

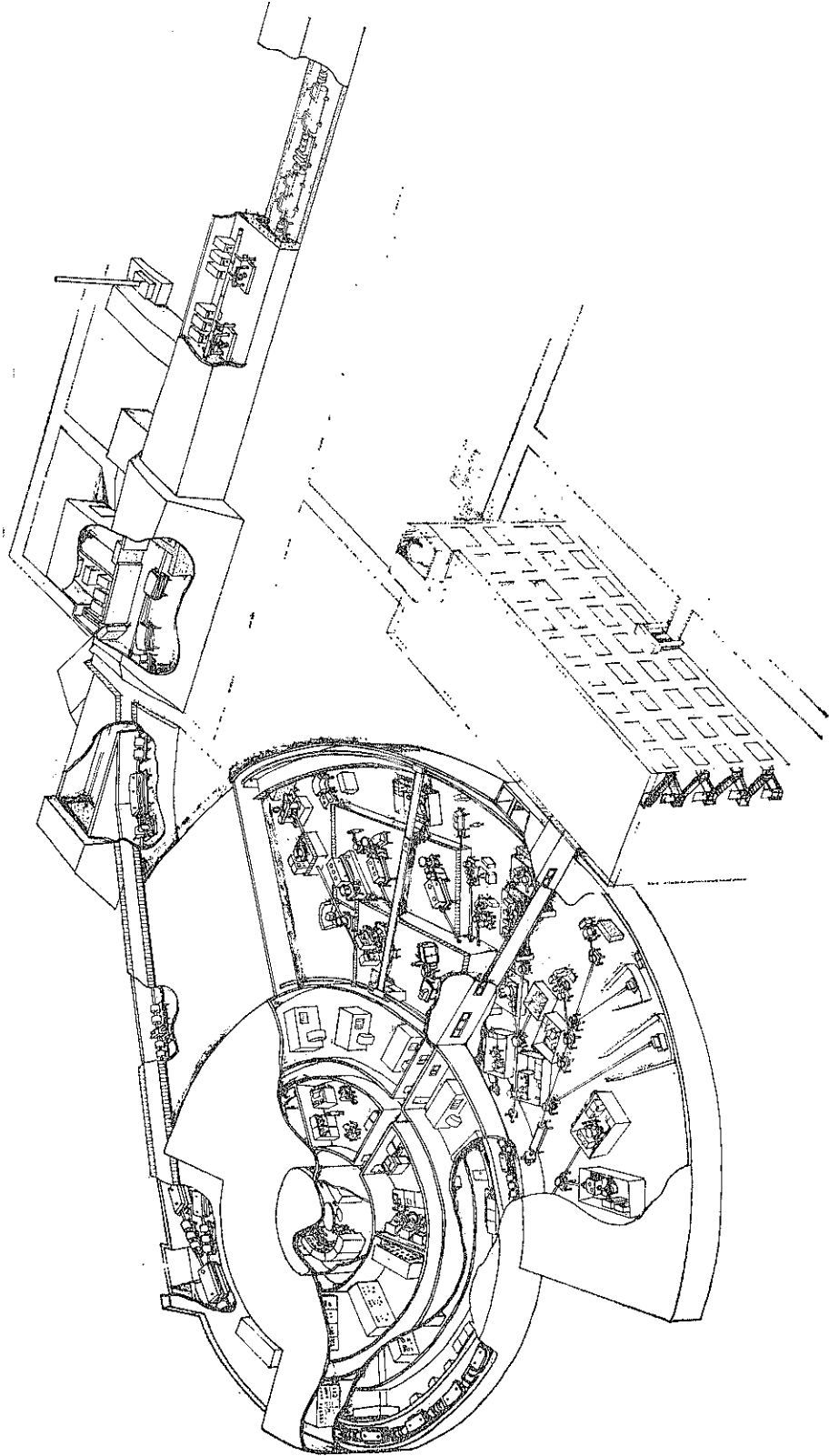


Fig. 2.
Perspective Plan of Photon Factory.