

放射光/低速陽電子 マルチプローブ利用実験の現状と 将来計画への期待

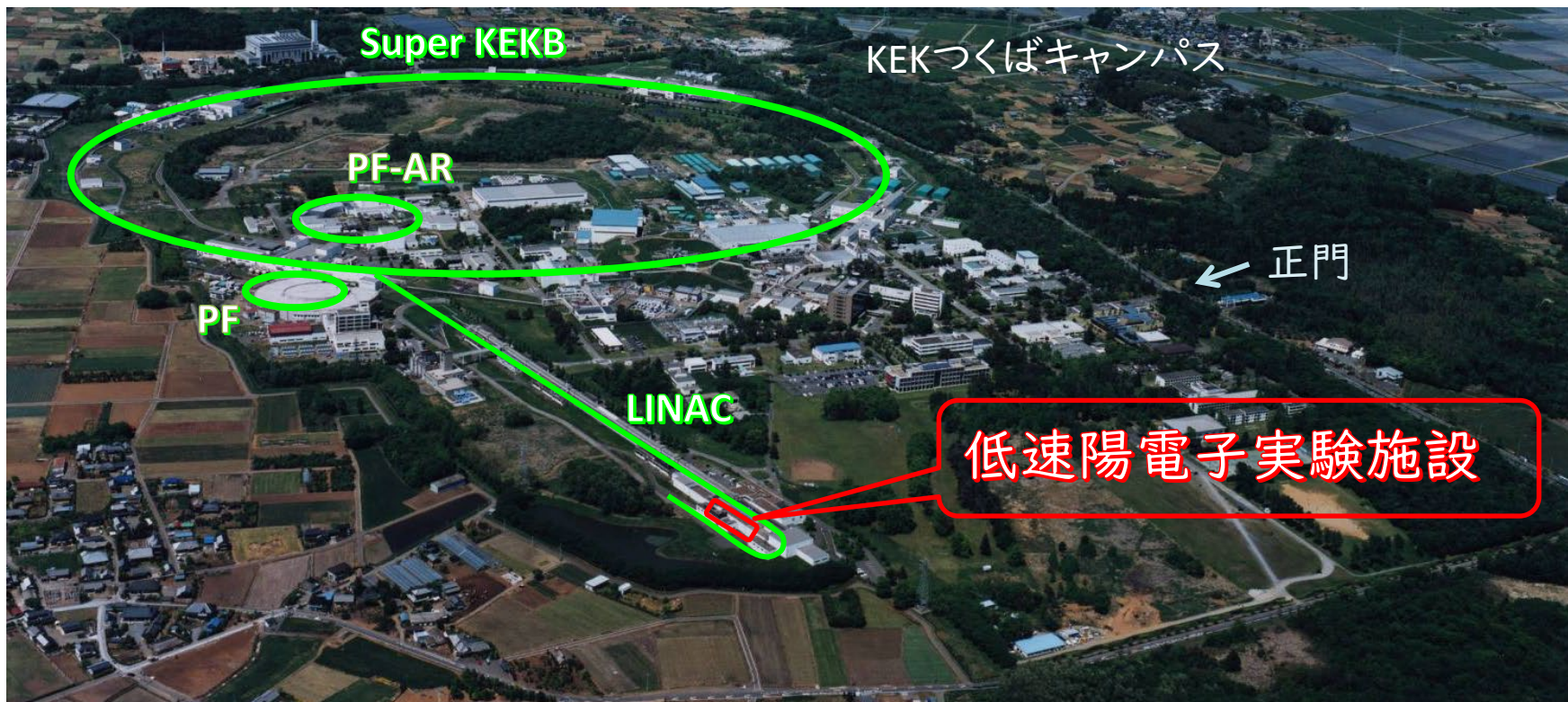
－ SPELEEM装置による放射光/低速陽電子マルチビーム利用実験 －

和田 健

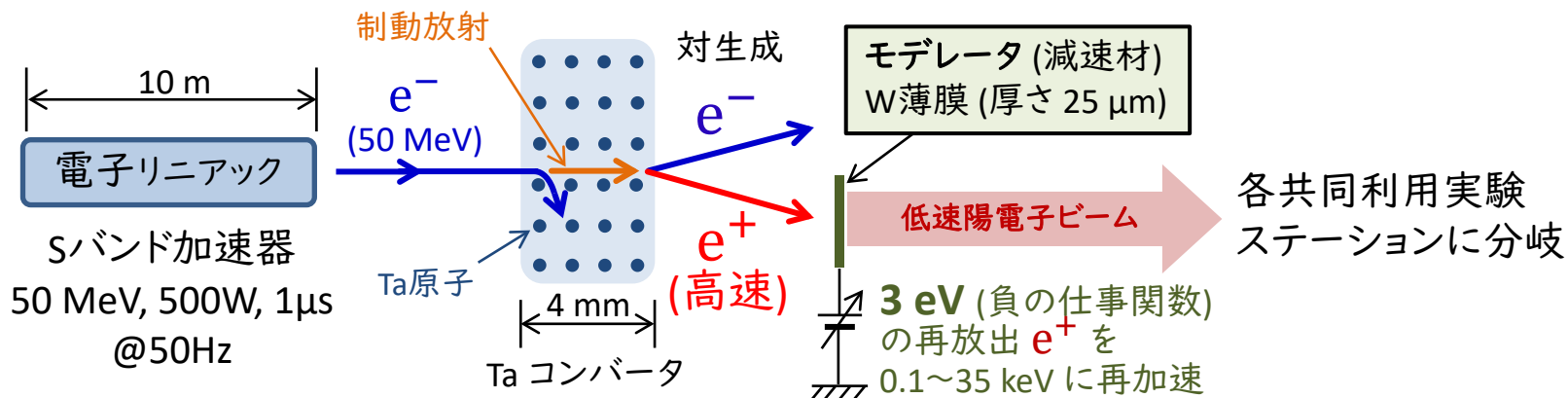
SPF-UG

物質構造科学研究所 低速陽電子実験施設
(Slow Positron Facility, SPF)

KEKつくば 放射光/陽電子共同利用施設が共存する世界唯一のキャンパス



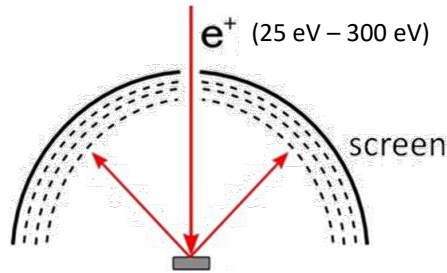
低速陽電子ビームの作り方@SPF



低速陽電子回折(LEPD)は理想的な表面構造解析手法

低速陽電子回折(LEPD, レプト)

Low-energy positron diffraction



微小試料でも実験可能!

低速電子回折(LEED)の陽電子版
Low-energy electron diffraction

“Why is the positron an ideal particle for studying surface structure?”

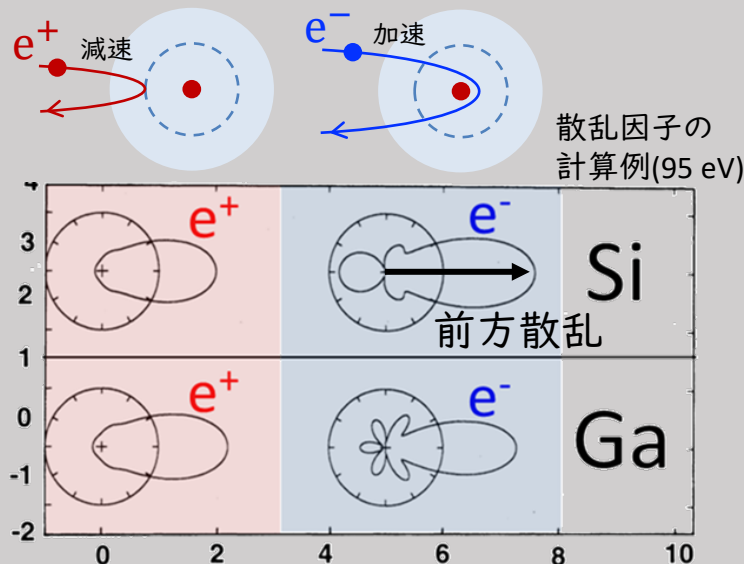
Surface Science, **457**, L432-L436 (2000)

David S. Y. Tong

First LEED analysis using a new multiple scattering theory (L. H. Germer の勧め)

- アイソトープ陽電子を用いたLEPD初観測とパイオニア的研究 (1980年頃~2000年頃, 米ブランダイス大)
- 米ローレンスリバモアにおける加速器による高強度陽電子ビームを用いたLEPD装置開発 (技術的困難) (2000年代)

低速電子回折 (LEED) に対する 低速陽電子回折 (LEPD) の利点



陽電子は占有電子との交換相互作用が無いので、

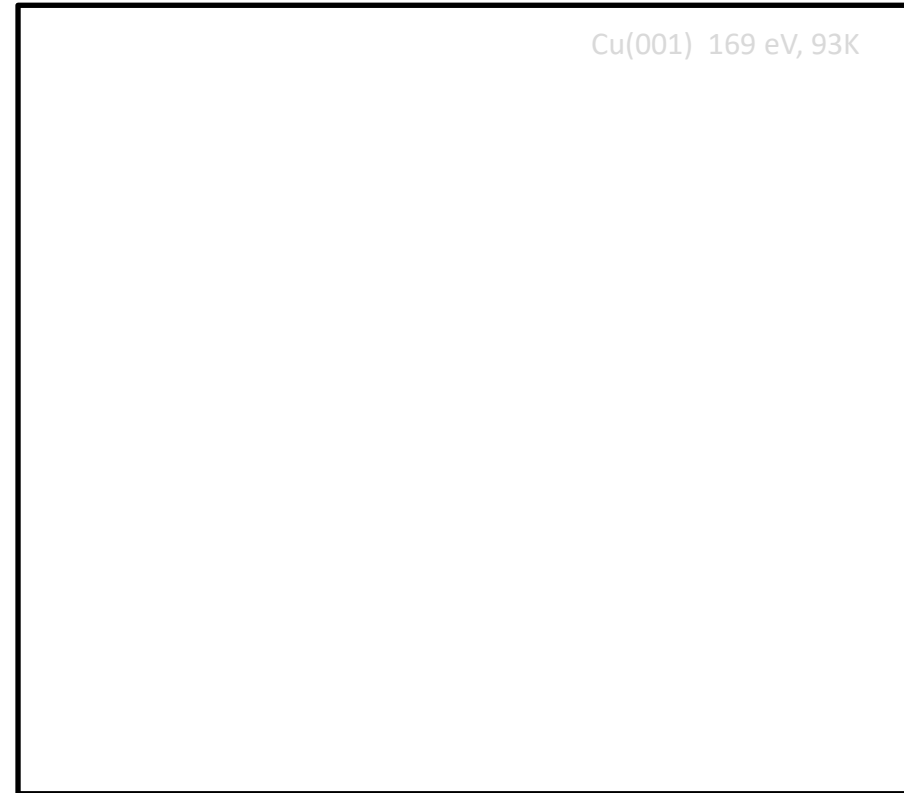
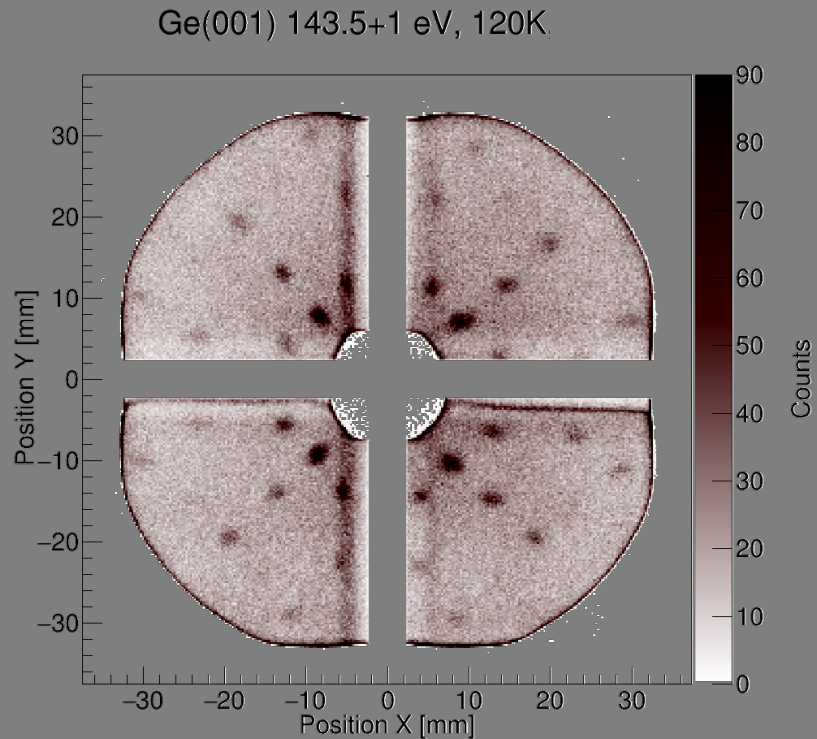
1. 散乱因子が単純

しかも、原子核から反発されるため相対論的効果が生じない。

非弾性散乱断面積が大きく後方弾性散乱断面積が小さいので、LEPDは、

2. より表面敏感

3. 多重散乱が少ない



1パターンの取得に**5時間**

K. Wada et al., e-J. Surf. Sci. Nanotech. 16, 313 (2018)

1パターンの取得に**5分** (2022.11.19)

⇒ **実際の構造解析が可能になった。**

Omicron型サンプルプレートを導入。超高真空搬送容器によってBL-13Bに試料を搬送し、2022/12/28,29に、LEPDステーションで作成した試料のARPES測定に初めて成功した。

低速陽電子(LEPD, TRHEPD)と放射光(ARPESなど)による
「表面の原子配列と電子状態」に関するマルチプローブ利用研究を推進

PES using Virtual Photons emitted by e^+ sticking

PHYSICAL REVIEW LETTERS 129, 106801 (2022)

Featured in Physics

Photoemission Spectroscopy Using Virtual Photons Emitted by Positron Sticking: A Complementary Probe for Top-Layer Surface Electronic Structures

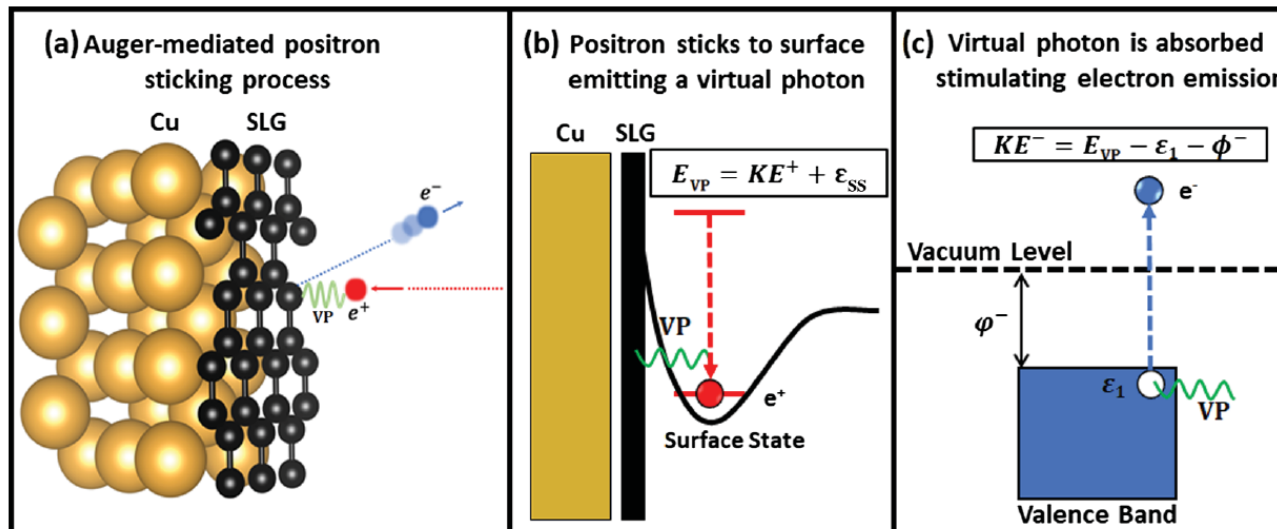
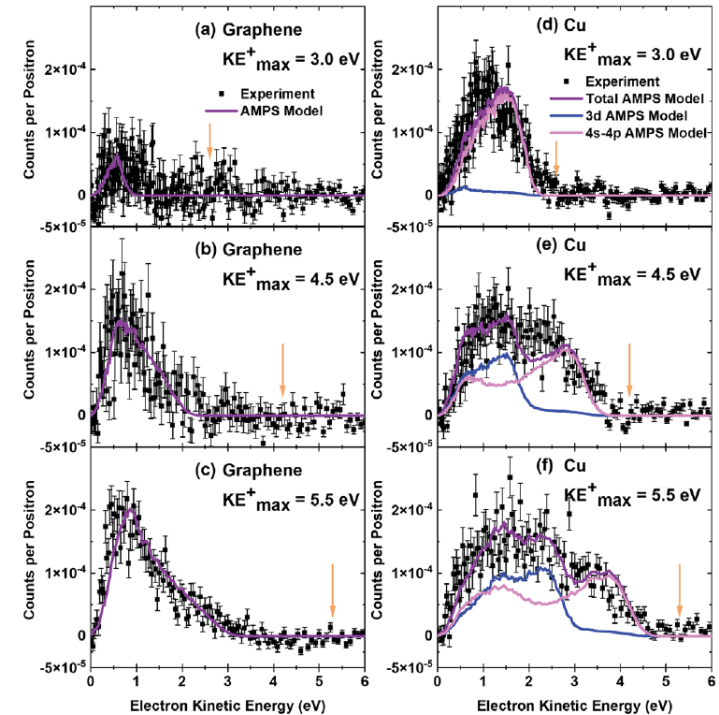
Alexander J. Fairchild^{✉,*}, Varghese A. Chirayath^{✉,†}, Randall W. Gladen[✉], Ali R. Koymen[✉], and Alex H. Weiss[✉]
Department of Physics, University of Texas at Arlington, Arlington, Texas 76019, USA

Bernardo Barbiellini[✉]

Department of Physics, School of Engineering Science, LUT University, 53851 Lappeenranta, Finland
and Physics Department, Northeastern University, Boston, Massachusetts 02115, USA

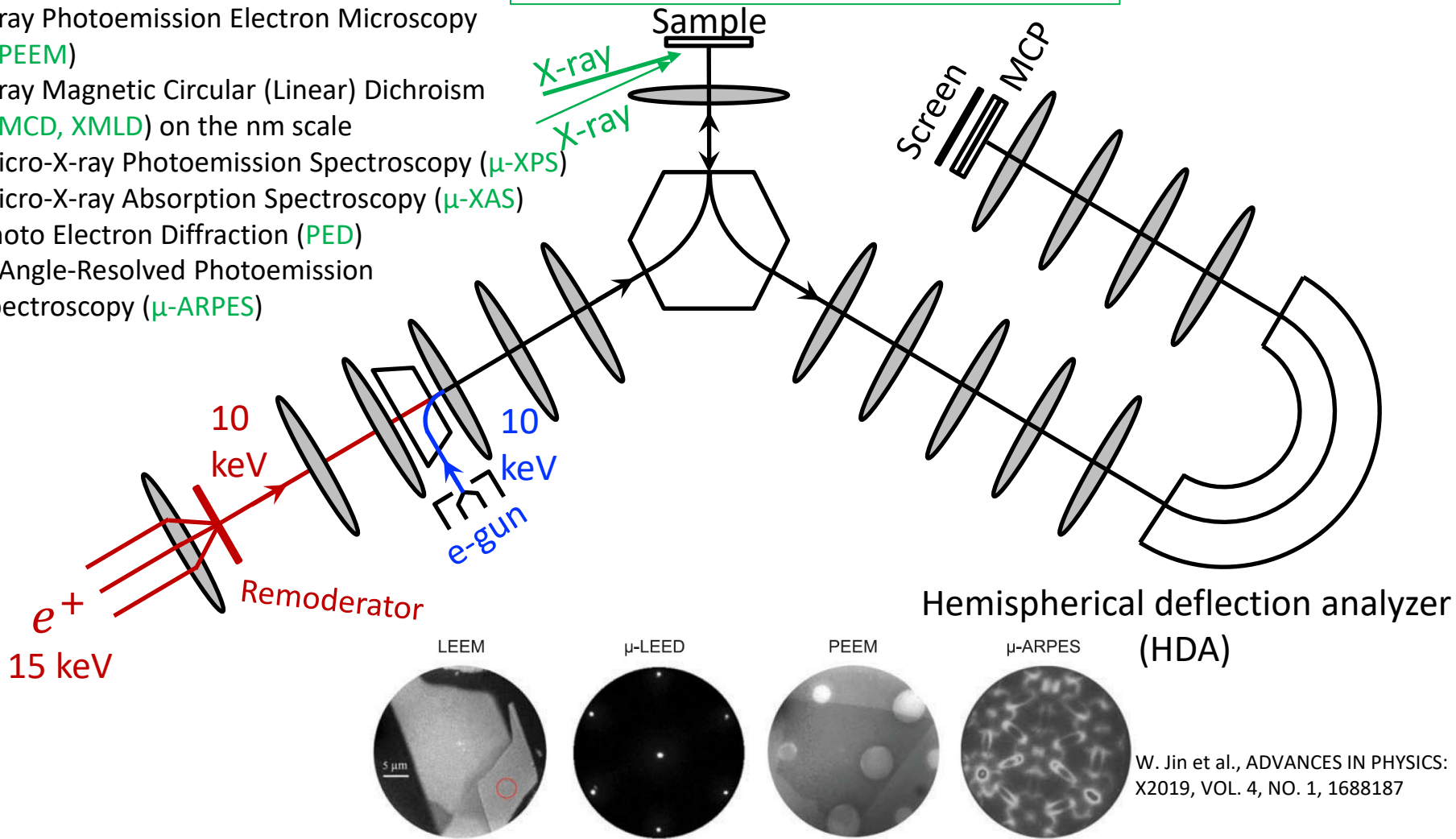
(Received 14 January 2022; revised 13 April 2022; accepted 8 June 2022; published 29 August 2022)

最表面原子層のみの電子状態の観測が可能



- Low Energy Electron Microscopy (LEEM)
- μ -Low Energy Electron Diffraction (μ -LEED)
- X-ray Photoemission Electron Microscopy (XPEEM)
- X-ray Magnetic Circular (Linear) Dichroism (XMCD, XMLD) on the nm scale
- Micro-X-ray Photoemission Spectroscopy (μ -XPS)
- Micro-X-ray Absorption Spectroscopy (μ -XAS)
- Photo Electron Diffraction (PED)
- μ -Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy (μ -ARPES)

放射光 μm ビームによる広い視野と
放射光 nm ビームによる狙いを定めた微小領域の観測



+ μ -Low-Energy Positron Diffraction (μ -LEPD)
PES using Virtual Photons emitted by e^+ sticking

- 低速陽電子回折による狙いを定めた微小領域の構造解析
- 陽電子による最表面原子層の電子構造解析

まとめ

- 放射光と低速陽電子の共同利用施設が共存するのはKEKつくばキャンパスが世界で唯一である。
- 全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) 実験による, 表面数原子層の構造解析に関する多くの共同利用の成果が上がっている。
- 垂直入射による低速陽電子回折 (LEPD) 装置の開発が進み, 実際の構造解析が可能な状況になった。さらに, LEPDで測定した試料を超高真空ベッセルでBL-13Bに搬送し, ARPESの測定ができるようになった。
- 加速器パワー100倍増強と低速陽電子生成ユニットの高効率化による, 2~3桁の低速陽電子ビーム強度増大計画を構想中である。
- SPELEEM装置に低速陽電子ビームを導入すれば, 電子+放射光+陽電子のマルチビーム測定が実現できると考えられる。
 - SPELEEM装置における電子と放射光による測定に加え, 陽電子による微小領域の表面数原子層の高精度3次元構造解析 (μ -LEPD) が可能となる。
 - 陽電子の表面状態へのトラップに伴うバーチャルフォトンを利用した表面第1層のみの光電子分光が可能となる。