

アト秒光電子顕微鏡のための 基礎技術と応用に関する調査研究

Feasibility study of attosecond photoemission electron microscopy

目的 Purpose

- ・フェムト秒光電子顕微鏡による固体表面の電荷移動イメージングが実現。
- ・極紫外域でのアト秒レーザーが実現している。
- ・アト秒光電子顕微鏡の要素技術と応用に関する調査を行う。
- ・Femtosecond photoemission microscopy (fs-PEEM) is becoming a powerful tool to image electron dynamics on solid surfaces.
- ・Attosecond EUV pulses are available with intense ultrafast lasers.
- ・Carry out a feasibility study of attosecond PEEM (as-PEEM).

概要 Outline

フェムト秒光電子顕微鏡の利用研究を行い、同時に、アト秒計測技術、極端パルスの極小集光技術に関する研究開発を進め、将来的にアト秒領域での時間分解光電子顕微鏡についての検討を行った。
We demonstrate the applicability of fs-PEEM to material science, and developed attosecond photoelectron streaking and ultra-tight focusing of ultrashort optical pulses. Combination of these techniques will enable as-PEEM in future.

フェムト秒光電子顕微鏡 (fs-PEEM)

Femtosecond photoemission electron microscopy (fs-PEEM)

- ・ポンプパルス (2.4 eV, 520 nm) とプローブパルス (4.8 eV, 260 nm) を用いて、時間分解光電子画像を取得した。
- ・時間分解能240 fs, 空間分解能100 nmを達成した。
- ・GaAs表面の欠陥におけるキャリア移動・緩和過程を直接、観測した。
[Fukumoto *et al.*, Rev. Sci. Inst. **85**, 083705 (2014).]

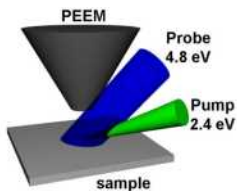


Fig.2: Schematic of the pump-probe method. The spot size of the pump pulse is 1/10 smaller than the probe pulse.

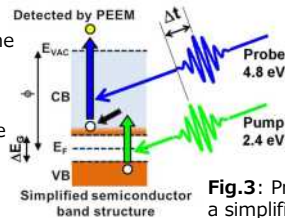


Fig.3: Principle of fs-PEEM in a simplified band structure.

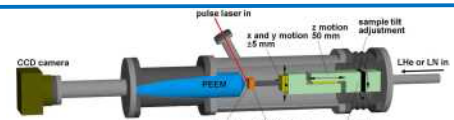


Fig.1: Schematic of the fs-PEEM at KEK.

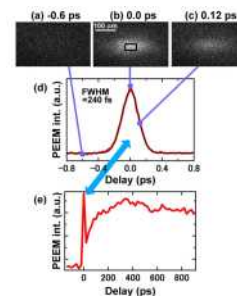


Fig.4: Results of fs-PEEM on a SiO₂/Si surface. (a-c) photoemission (PE) images at t = -0.6, 0.0, and 0.12 ps. (d) the temporal profile of PE intensity in the rectangle in (b) with dt = 20 fs. (e): The same time profile with 20-ps step up to 900 ps.

アト秒ストリーク法

Attosecond photoelectron streaking

- ・アト秒極紫外パルスで光電子が放出される際に、光電場を加えると、光電子スペクトルが変調される。この変調より、アト秒パルスの波形計測を実現した。
[Saito *et al.*, Sci. Rep. **6**:35594 (2016).]

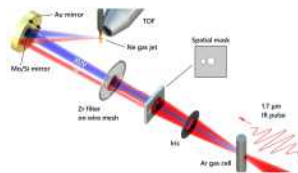


Fig.5: Schematic of attosecond streak measurement. A strong low frequency field is applied at the time of photo-ionization by XUV pulse.

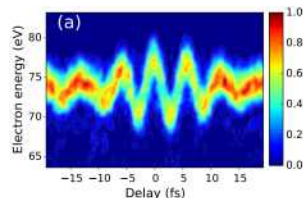


Fig.6: Experimentally observed modulation of photoelectron spectra. From this spectrogram, we can obtain attosecond temporal resolution.

極短パルスの極小集光技術

Ultra-tight focusing of ultrashort optical pulses

- ・反射型無収差光学系を開発し、広帯域極短パルス光(12.2 fs)の極小集光 (スポット径5 μm) を実現した。

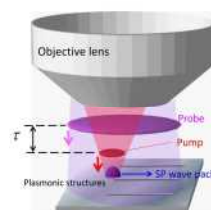


Fig.7: Concept of micro-focusing of a pump pulse with a larger spot of a probe pulse for TR-PEEM measurement.



Fig.8: (Left) Schematic of aberration-free focusing. (Right) Assembled focusing module.

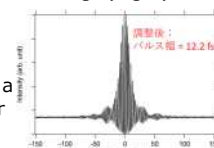


Fig.9: Autocorrelation trace at the focused spot. The spot diameter of ~5 μm is achieved.

今後の展望と課題

アト秒PEEMに向けた装置の高度化・要素技術開発を進める。

- ・fs-PEEMにおけるエネルギー分解能の付与
- ・高繰り返し(10-100 kHz)・極端紫外アト秒パルス光源の開発
- ・アト秒パルスと同期した極短パルス光源と極小集光技術の開発