相対論的フェムト秒電子線パルスを用いた不可逆構造変化現象の測定技術の開発

Observation of irreversible structural dynamics with relativistic femtosecond-pulsed electron beam

*楊 金峰[1]，菅 晃一[1]，神戸 正雄[1]，吉田 陽一[1]

[1]阪大産研

本研究では、高周波（RF）電子銃技術を用いて100fsの高時間分解能を有するシングルショット電子回折装置を開発し、光誘起で引き起される不可逆構造相転移の解明を推進している。本大会では、シングルショット電子回折装置の開発現状と、それを用いた構造ダイナミクスの測定について報告する。

キーワード：時間分解電子回折，構造ダイナミクス，フェムト秒電子線パルス，RF電子銃

超高速構造変化現象（特に不可逆な構造変化過程）の観察は、物質とその機能の理解において非常に重要であり、その構造変化を利用すれば、新物質・新機能の開拓が期待される。この不可逆な構造変化現象を観察するためには、単一パルスを利用したシングルショット測定技術が必要不可欠である。そこで、我々はフォトカソードRF電子銃を用いて、単一パルスで測定可能なシングルショット電子回折装置を開発している。今年度には、フェムト秒短パルス電子ビームの高輝度化や、相対論的フェムト秒電子線パルスを用いた単結晶、多結晶、アモルファス等の物質の透過電子回折図形と光誘起構造相転移過程の観察を試みた。

本シングルショット電子回折装置は、Sバンドフォトカソード RF 電子銃と電子回折用のレンズ系から構成されている[1,2]。RF 電子銃では、エネルギーが 2MeV、パルス幅が 55fs、電荷量が 0.1pC/pulse、エミッタンスが 0.1mm-mrad のフェムト秒短パルス電子ビームを発生した。電子回折用のレンズ系では、電子ビーム入射と制御のためにソレノイド、コンデンサーレンズ、対物レンズと投影レンズを用いた。回折像の記録では、今まで我々が開発した相対論的電子線パルス用高感度CsI(Tl)シンチレーション検出器を用いた。電子線パルスの発生と試料の励起に Spectra-Physics 社製の Ti:Sapphire フェムト秒レーザーを用いた。

図に、エネルギーが 2 MeV のフェムト秒電子線パルスのシングルショット測定で得られた厚さ30nmの単結晶シリコン薄膜の電子回折像と（220）スポット強度のフェムト秒レーザーパルス励起後の時間変化を示す。励起レーザーパルスの強度は 0.1mJ であった。この回折強度の変化は、基本的には、励起された電子系からのエネルギー伝達による格子系の加熱効果に起因していると考えている。実証実験から、本装置では、フェムト秒電子線パルスのシングルショット測定で極めて明瞭な回折像を得ることができ、今まで測定困難である不可逆構造変化の現象を観察可能であることが分かった。

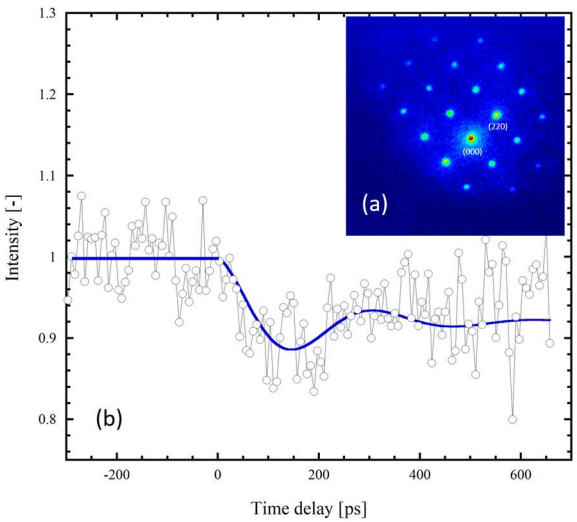

図: (a)フェムト秒電子線パルスのシングルショット測定で得られた単結晶シリコンの電子回折像と、(b)（220）スポット強度のフェムト秒励起後の時間変化

[1] J. Yang and Y. Yoshida, Advances in Conden. Matt. Phys. **2019**, 9739241 (2019).
[2] J. Yang et al., Quantum Beam Sci. **2020**, 4,4 (2020).

*Jinfeng Yang[1], Koichi Kan[1], Masao Gohdo[1] and Yoichi Yoshida[1]

[1]Sanken, Osaka Univ.