

ナノワイヤーアレイへの高強度レーザー照射による 超高エネルギー密度状態の生成及びその観察

Creation and observation of ultrahigh-energy density states by relativistic intensity laser irradiation to nanowire arrays

福山 祐司¹, 宮西 宏併¹, 弘中 陽一郎¹, 藤原 宇央¹, 前田 優斗¹, 坂和 洋一¹, 江頭 俊輔¹, 泉 智大¹, 尾崎 典雅², 松岡 健之³, 染川 智弘⁴, 末田 敬一⁵, 藪内 俊毅⁵, 今 亮⁶, 犬伏 雄一⁶, 富樫 格⁶, 重森 啓介¹
Yuji Fukuyama¹, Kohei Miyanishi¹, Yoichiro Hironaka¹, Neo Fujiwara¹, Yuto Maeda¹, Keisuke Shigemori¹, *et al.*

¹阪大レーザー研, ²阪大院工, ³阪大先導学際, ⁴レーザー総研,
⁵理研放射光科学研究センター, ⁶高輝度光科学研究センター

¹ILE, Osaka Univ., ²Graduate School of Engineering Osaka Univ., ³OTRI, Osaka Univ., ⁴ILT,
⁵RIKEN SPring-8 Center, ⁶JASRI

1. 実験目的

恒星の中心部などは 10^8 J/cm^3 以上の超高エネルギー密度 (Ultra-High Energy Density, UHED) 状態であり, この状態中の物質の性質を研究することで恒星の形成過程などの理解の助けになる. 近年, ナノワイヤー構造をもつ試料への超高コントラスト, 超短パルスレーザーの照射によって UHED 状態を生成できることが示唆された. しかし, レーザーから試料へのエネルギーの吸収・輸送過程の詳細は明らかになっていない. そこで我々はこの機構の解明のために UHED 状態の生成と, X 線自由電子レーザーによるエネルギー輸送の時間発展のその場観察を行った.

2. 実験方法

レーザー照射実験は理化学研究所 X 線自由電子レーザー施設 SACLA (BL2. EH6) で行った. レーザー条件は波長が 800 nm, パルス幅が $\sim 25 \text{ fs}$, コントラストが $10^{-10} \sim 10^{-8}$, レーザーエネルギーが 10 J と 1 J, スポットサイズが $\sim 20 \mu\text{m}$, 照射強度が $5 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{19} \text{ W/cm}^2$ であった. 試料は幅 $50 \mu\text{m}$, 厚さが Ni ナノワイヤー部分と Ni 箔部分の合計 $40 \mu\text{m}$ からなるナノワイヤーアレイを使用した. ナノワイヤーの直径は $\sim 200 \text{ nm}$, ワイヤ部分の平均密度はおよそ 30 - 40 % であった. 本実験のセットアップを図.1. に示す.

XFEL からの X 線とレーザーのタイミングを変化させることにより, レーザー照射後の試料のシャドウグラフ像の時間変化を得た.

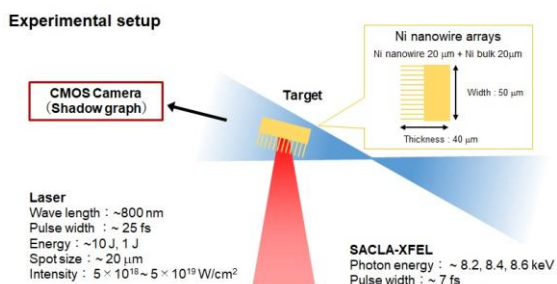


図.1. 実験のセットアップ.

3. 実験結果

図.2. にレーザーエネルギーが 10J, X 線の光子エネルギーが 8.2 keV における Ni ナノワイヤーアレイのシャドウグラフ像とレーザー照射領域の空間プロファイルを示す. レーザー照射後 500 fs まではレーザー照射の前後で大きな変化は見られなかった. 一方でレーザー照射後 100 ps から試料の裏面側が膨張していることが観測され, 1 ns 後には試料内部の X 線透過率が低下し, 試料が全体に膨張している様子が観測された.

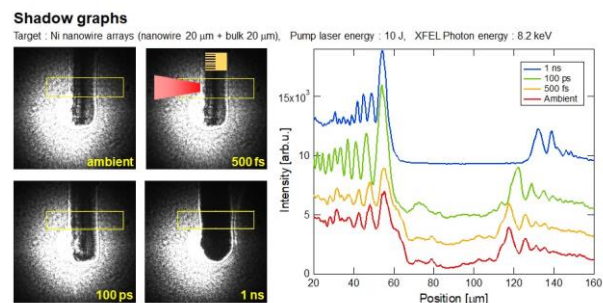


図.2. 試料のシャドウグラフ像と空間プロファイル (レーザー照射前と照射後 500 fs, 100 ps, 1 ns)

4. 考察

先行研究で UHED 状態の生成が予想される時間は $\sim 500 \text{ fs}$ であったが, 今回の実験状況において有意な変化は見られなかった. その原因の一つとして, 試料のナノワイヤー部分の平均密度が先行研究に比べて大きかったことが挙げられる. 現在, 我々は先行研究と同等の低密度の試料の作製を進めている.

5. 謝辞

本実験にご協力してくださった方々, SACLA のレーザー, XFEL の操作及びターゲット製作してくださった方々に深く感謝致します.

6. 参考文献

Purvis *et al.*, Nature Photonics 7, 796–800 (2013)
Bargsten *et al.*, Sci. Adv. 3, e1601558 (2017)