

高強度X線と物質との相互作用の解明と応用

素粒子、原子核、宇宙物理学
およびその関連分野

研究者所属・職名 :
放射光科学研究センター・研究員

ふりがな いのうえ いちろう

氏名 : 井上 伊知郎

主な採択課題 :

- [若手研究\(B\)「X線ポンプ・X線プローブ方によるフェムト秒X線ダメージ過程の解明」\(2017-2018\)](#)
- [若手研究「2色発振X線自由電子レーザーを利用した非線形X線分光法の開発」\(2019-2021\)](#)

分野 : 量子ビーム科学、物質科学

キーワード : X線自由電子レーザー、非線形光学、ポンププローブ、フェムト秒

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

波長が0.1 nm程度の電磁波であるX線と物質との相互作用は非常に弱く、X線は物質の状態をほとんど変えないと考えられてきた。しかし、最近実現されたX線自由電子レーザーのような高輝度光源からのX線が物質に照射されると、フェムト秒(1 フェムト秒(fs)= 10^{-15} 秒)の時間スケールで時々刻々と物質の状態が変化(図1)。この過渡的な相互作用を解明することは、X線計測技術を発展させる上で重要である。本研究では、この過渡的な状態の観測・理解と非線形X線光学技術への応用を目指した。

●研究するにあたっての苦労や工夫(研究の手法)

時間間隔を制御した2つのX線自由電子レーザーパルスを利用したX線ポンプ・X線プローブ法を開発し、過渡的な相互作用の観測に用いた。さらに、X線自由電子レーザー自体の輝度を上げるために「セルフシード」と呼ばれる、パルスエネルギーを保ったまま波長幅を小さくする技術を開発して研究に用いた。

光電子・オージェ電子の放出(X線照射直後~10 fs) 雪崩イオン化(X線照射直後~20 fs)

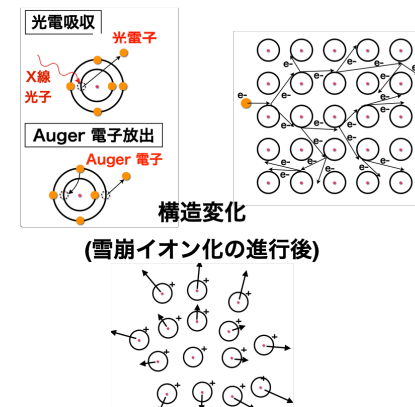


図1 高強度X線が引き起こす物質の状態変化

高強度X線と物質との相互作用の解明と応用

素粒子、原子核、宇宙物理学
およびその関連分野

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

1. 高強度X線が引き起こす物質の状態変化の可視化

ダイヤモンドを対象にX線ポンプ・X線プローブ法を適用し、高強度X線を照射した後の電子密度分布の時間変化の可視化に成功した(図2)。その結果、X線照射後5フェムト秒程度で化学結合が切断され、さらに15フェムト秒以上遅れて原子の移動が起こることが明らかになった。観測された実験結果から、高強度X線は電子の励起を通じて原子間ポテンシャルの平坦化させ、それによって原子がもともと持っていた速度で位置を変化させていく、という高強度X線が引き起こす物質の構造変化のメカニズムが明らかになった。

2. 過渡的な状態を利用した非線形X線光学素子

高強度X線が引き起こす物質の電子状態の変化を利用した、X線非線形光学素子を考案した。この光学素子を利用することでセルフシードX線自由電子レーザーから生成されたX線パルス の時間幅を7 fsから4.5 fsへと約35%短くすることに成功した(図3)。

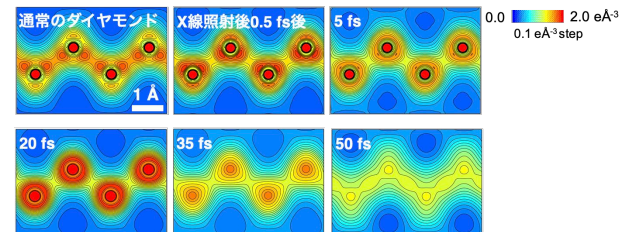


図2 X線を照射後のダイヤモンド(110)面の電子密度分布

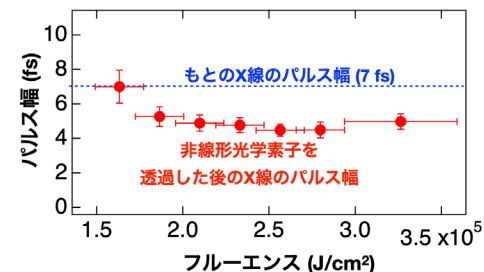


図3 非線形光学素子によるパルス幅の短縮化

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

現在、X線の光源技術や集光技術は日進月歩の勢いで向上している。近い将来、高強度X線を用いることで1つの分子を原子分解能で構造解析できることが期待されている。そのためにはX線と物質との相互作用を考慮にいった新奇な構造解析法を確立する必要がある。今後は、高強度X線と様々な物質との相互作用を解明し、高強度X線を利用した構造解析法の実現へとつなげていきたい。