

高速応答中性子シンチレーション検出器の開発

有川安信、中井光男、渡利威士、細田裕計、猿倉信彦、乗松孝好、囃地宏
(大阪大学レーザーエネルギー学研究センター)

著者らは大阪大学レーザーエネルギー学研究センターにおいて高速点火原理実証実験 (FIRE-X) の一環としてプラズマ診断法の開発に取り組んでいる。高速点火は高強度レーザーを四方八方から燃料球に照射し爆縮して十分に圧縮したところにより短パルスでピーク強度の高いレーザーを照射することによって一気に点火に導くという手法である。実験的に観測すべき重要な事象のひとつに、追加熱レーザーの入射時刻と燃焼時刻を示す中性子発生時刻(バースタイム)の関係がある。著者らはバースタイムを十分な精度で(測定誤差約 50 ピコ秒以内)で観測することを目的として高速応答中性子検出器の開発を行っている。高速応答中性子検出器はこれまでに数々の研究がなされ、シンチレーターとストリークカメラを用いた計測器で 25 ピコ秒といった高時間分解能が実証されてはいるが、それらの検出器では現在進行中のFIRE-X計画の第一段階で生成される核反応中性子イールド(DD中性子でイールド 10^6 程度)では十分な感度を有しない。そこで本研究では高速応答のプラスチックシンチレーター(BC-422)と高速応答光電子増倍管をバンドル光ファイバーで結合する構造をもつ高速応答かつ高感度の検出器を開発した。

バースタイム計測のための絶対時刻フィデューシャルは爆縮レーザーをフォトダイオードで検出することによって同時計測する。検出中性子数を上げ、核融合中性子エネルギーの熱拡がりによる時間分解能劣化を抑えるために、シンチレーターを燃料ターゲットに可能な限り近づける設計にした。最低中性子イールド 10^6 からバースタイムを計測できることが計算上示された。

中性子による計測器のインパルス応答を実験的に模擬するため、チタンサファイヤレーザーの 3 倍高調波(波長 290nm、パルス幅 150 フェムト秒)をシンチレーターに照射してその発光を本計測器で測定した。オシロスコープ(帯域 8GHz、サンプリング間隔 25GS/s)によって捉えられたインパルス応答信号は立ち上がり 200 ピコ秒、立下り 2.6 ナノ秒であった。同時にシンチレーターの発光を直接ストリークカメラで撮影することによって、立ち上がり時間が 10 ピコ秒であることも明らかになった。

またバースタイムの計測誤差を評価するために繰り返しパルスによるシンチレーション信号と分岐レーザー光を直接フォトダイオードで検出した信号の両者の立ち上がりの 50%の点の差分時間を複数回測った。測定された時刻の分布の標準誤差は 39 ピコ秒でありオシロスコープのサンプリング間隔程度であることが明らかになった。この実験結果に加えバースタイム計測上考えられる時刻計測誤差要因(シンチレーターの厚みに起因するもの、シンチレーター内での励起プロセスに起因するもの)を考慮し、本計測器のバースタイム計測の標準誤差は 46 ピコ秒以下であると結論づけた。

本発表では設計および評価実験の詳細と結果を述べる。