位相空間回転によるマイクロバンチ構造の生成

栗木雅夫,広島大院先端研,大槻祥平,東大院工

2013年9月13日

近年、コヒーレント輻射のドライバーや高速現象のプローブとして短パルスレーザーと フォトカソード、バンチングなどの手法を駆使し、1psを下回る fs, あるいは as の極短バ ンチ生成が取り組まれている。本発表ではこれらの方法とは根本的に異なるアプローチに よるマイクロバンチ構造、あるいは極短バンチの生成について議論する。

ビーム力学における位相空間制御は、各自由度間を結合する適当なビーム光学素子等に より粒子分布を変化させ、ビームの利用形態に最適なビーム形状を提供する。本発表では マスキング等で生成した横方向空間の離散的ビーム構造を、位相空間回転により進行方向 へと移すことでマイクロバンチ構造や極短バンチが生成可能であることをシミュレーショ ンによりしめす。位相空間回転は図1に示すように二重極磁場と*TM*₂₁₀RF空洞からなる ビームラインにより実現され、特殊な装置は必要としない。例えば、15MeV, 100pC程度 のバンチを生成し、マスキングにより 100µm 程度の短冊状のビームを図2に示されてい るように生成したとする。このビームを図1に示されたビームラインを通過させる。図3



図 1: 位相空間回転のためのビームライン. 二つのドッグレッグと TM₂₁₀ 空洞からなる.

は位相空間回転セクションの下流で得られたビーム分布で、縦軸と横軸は図2と同じ定義 である。これより x 方向に与えた離散分布が、位相空間回転により進行方向へと移され、 マイクロバンチ構造が得られていることがわかる.この例で得られたマイクロバンチ構造 の繰り返し(基本周波数)は 6.25THz, パルスの時間幅は FWHM で 34fs, ピーク電流は 77A である.シミュレーションには空間電荷効果も含まれており、図3にみられる歪みは 空間電荷効果に由来する。得られたビームの進行方向の周波数成分を分析すると、基本周





図 2: 位相空間回転への入力として生成 した短冊状のビーム分布。縦軸および横 軸は各々*x* 位置、*z* 位置を示す。

図 3: 出力として得られたビーム分布。 縦軸および横軸は各々x 位置、z 位置を 示し、進行方向にマイクロバンチ構造が 生成されている.

波数の他に四倍波程度までの成分が有意に含まれており、コヒーレント輻射のドライバー として数十 THz 程度までカバーすることが可能であることが分かる。

この方法の特徴的な点は、入力ビームに必ずしも短パルスビームが必要で無い点であ る。条件は使用する RF 空洞の周波数に対してバンチ長が充分に短いというものである。 今回使用した RF 空洞は 2856MHz の S-band を仮定しているが、この場合では 20-30ps 程 度の長いバンチでも全体にわたり回転条件を維持することが可能である。この値は近年の レーザーフォトカソードの技術からすれば非常に容易に得られるものであり、またピーク 電流を抑制することで空間電荷力の抑制にも有効である。

短冊状のマスクの代わりに単独のスリットを用いれば単独の短バンチも生成可能であ る。また、適当な間隔の二つのスリットにより、ある間隔をあけた二つの極短バンチビー ムも生成可能であり、ポンププローブ実験等に応用可能である。x 空間から z 空間への回 転にはスケールの任意性があり、これを圧縮係数と呼ぶ。圧縮係数は二重極磁場の大きさ と RF 空洞の加速勾配により事後的に調整可能であるから、マスクパターンの任意性に加 え、マイクロバンチ構造の周波数、バンチ長、バンチ間隔の操作性は高く、このことも他 の方法に比して有利な点である。

また入力ビームのエネルギーを増大させることで空間電荷効果の影響を抑制すること が可能であり、バンチ構造を損なわずにバンチ電荷全体を大きくすることも可能である。 ただしその際、RF 空洞の加速電場はエネルギーにスケールして増大させる必要がある。

このように横方向パターンと位相空間回転を組み合わせることで、通常の方法ではな かなか得ることが困難な極短バンチ、あるいはマイクロバンチ構造が得られることがわか る。さらにこの手法には高い操作性があり、コヒーレント輻射や超高速現象のプローブに とどまらず、広い応用可能性が期待される。