

Title	Design Study of the Staggered Array Undulator for Free Electron Lasers(Abstract_要旨)
Author(s)	Kitagaki, Jiro
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2000-03-23
URL	http://hdl.handle.net/2433/180804
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	none

氏名	北 垣 次 郎
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学位記番号	エネ博第12号
学位授与の日付	平成12年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	エネルギー科学研究科エネルギー変換科学専攻
学位論文題目	Design Study of the Staggered Array Undulator for Free Electron Lasers (自由電子レーザー用スタガードアレイアンジュレータの設計)

論文調査委員 (主査) 教授 吉川 潔 教授 山崎鉄夫 教授 若谷誠宏

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、自由電子レーザー (FEL) で用いられる挿入型光源の一つであるスタガードアレイ・アンジュレータの設計を目的に、計算機シミュレーションコードの開発、及びその適用により設計の最適化を試みた結果について論じたものであり、7章で構成されている。

第1章の序論では、まず、FELの特徴、研究・応用の現状、及び実用性向上の可能性について述べ、研究目的と理論的背景を明らかにしている。また、FELの高度化に際しての問題点について述べており、それらを解決するスタガードアレイ・アンジュレータの特徴について説明し、設計においては磁化の非線形性が重要で、これを考慮すべきであることを述べ、設計における計算機シミュレーションの必要性を示している。さらに、本論文の構成について述べている。

第2章では、まず周期的交番磁場を発生させるアンジュレータと、その内部を蛇行する電子ビームによる自発放射光、及びその増幅による自由電子レーザーの原理について述べている。次に、従来のアンジュレータについてその特徴を示し、それに対してスタガードアレイ・アンジュレータがどのような利点を持つかについて説明している。また、本研究で行った各種の設計について各々の目的及び予想される結果について概略を述べている。

第3章では、磁場を求めるためのベクトルポテンシャルを用いる二次元コード、及び新たに開発したスカラポテンシャルによる三次元シミュレーションコードに用いられる基礎方程式を示し、電子軌道を求める方程式を Lorentz 方程式から、自発放射光を求める方程式を Lienard-Wiebert ポテンシャルから導出している。またそれらの方程式を解く際に課した境界条件及び数値計算上用いた手法について説明している。

第4章では、第3章で示した2次元シミュレーションコードを用いて、磁化の非線形性を考慮する場合と考慮しない場合の結果について比較検討し、非線形性効果の重要性を明らかにしている。そして、磁化の非線形性を考慮する場合のアンジュレータの各種の設計のパラメータについて、アンジュレータ磁場を最大にするような最適化を行っている。また、それらのパラメータを用いて設計したアンジュレータの特性を評価するため、電子ビームの軌道計算を行い、スタガードアレイ・アンジュレータの特徴の一つであるビームの閉じ込めの機構について示している。さらに、設計したアンジュレータにより得られる自発放射光について、その波長特性・強度などの評価を行っている。

第5章では、第4章で設計したアンジュレータの改良について述べており、アンジュレータを構成する鉄片の形状がアンジュレータ磁場に与える影響について解析を行っている。また、アンジュレータを含む装置全体を改良することで、アンジュレータの特性がどのように改善されるかについて示しており、アンジュレータ端部に鉄片を挿入する方法や、外部に磁気帰還回路を取り付ける方法により、アンジュレータ磁場の一様性を大きく高められることを示している。とくに、外部磁気帰還回路を取り付ける方法では、それにより電子ビームの閉じ込めに関しては10%程度、および自発放射光の強度については50%もの向上が見られることを示している。さらに、この磁気帰還回路は装置全体の小型化をももたらし、装置の長さを概略半減することが可能であることを示している。

第6章では、新たに開発した3次元シミュレーションコードを用いて、電子の閉じ込めを向上させる目的で、アンジュレータを構成する鉄片の3次元形状についての最適化を行っている。その結果、アンジュレータの軸方向をzとすると、スタガードアレイ・アンジュレータの特徴であるy方向の収束力に加えて、x方向にも収束力を与えるような設計を行うと、全長0.5mのアンジュレータで、アンジュレータの出口に到達する電子数は最適化前に比べて15%も増加できることを示している。また、2mのアンジュレータでは、最適化前の3倍程度の電子が出口に到達できることを明らかにしている。

第7章は結論であり、スタガードアレイ・アンジュレータに関して本研究で得られた結果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、自由電子レーザーに用いられるスタガードアレイ・アンジュレータの設計を目的として、計算機シミュレーションコードの開発、及びその適用によりアンジュレータの改良を理論的に試みた結果についてまとめたもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. スタガードアレイ・アンジュレータは鉄とアルミニウムのディスクにより構成されているため鉄片の非線形な磁化の影響が顕著にみられ、その結果、アンジュレータによる磁場強度は、ソレノイド磁場強度に対して一般に強い依存性を持つことを明らかにした。

2. アンジュレータを構成する鉄片の形状に対するアンジュレータ磁場の依存性もソレノイド磁場強度によって異なり、異なるソレノイド磁場強度に対して最適なデザインパラメータが存在することを示した。また、ソレノイド磁場を大きくしていくと飽和の影響によりアンジュレータ磁場にはピークが見られ、ソレノイド磁場強度0.8Tに対してそれより大きい0.91Tのアンジュレータ磁場が得られることを見出した。

3. アンジュレータ磁場の一様性を高めるためアンジュレータの外部に磁気帰還回路を付加し、それにより一様な磁場強度を持つアンジュレータが得られることを示した。さらに、この改良により、ビームの閉じ込めに関しては10%、また自発放射光の強度に関しては50%もの向上が見られ、装置全体の長さも短くすることができ、装置長に関しては42%の短縮が可能となることを示した。

4. ビームの閉じ込め性能を高める目的で、開発した3-Dシミュレーションコードによる最適設計を行い、0.5mのアンジュレータに入射した電子の99.7%がアンジュレータ出口に到達することを示した。また、2.0mのアンジュレータにおいても、97%の電子の閉じ込めが可能であることを明らかにした。

以上、本論文は自由電子レーザー生成におけるスタガードアレイ・アンジュレータの設計に関して最適化を行い、その結果電子の閉じ込め性能が非常に高いアンジュレータを設計できることを示したもので、学術上・実用上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年1月17日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。