

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

氏名	OKOYE KENNETH EJIKE (おこいえ けねっと えじけ)
学位の種類	博士(工学)
授与番号	甲 第 693 号
授与年月日	2010 年 9 月 25 日
学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
学位論文の題名	NOVEL TRANSITION RADIATION LASER (新型遷移放射レーザーに関する研究)
審査委員	(主査) 山田 廣成(立命館大学理工学部教授) 森本 朗裕(立命館大学理工学部教授) 笠原 健一(立命館大学理工学部教授) 宮本 修治(兵庫県立大学理学部教授)

< 論文の内容の要旨 >

(和文)

本論文の主たる目的は、相対論的電子が異なる誘電率を有する二つの媒質の境界を通過するとき発生する遷移放射において、誘導放射が起きることを証明し、この現象を用いて新型のレーザーを構成することに有る。外部から投入した電磁波と相対論的電子が同時に境界領域へ侵入するときその相互作用で誘導放射と誘導吸収が起こる。我々は現象論的な量子電磁力学を用いて誘導放射と誘導吸収の確率を導き出し解析的に定式化した。そして、誘導放射が誘導吸収より大きいことが求めたので、増幅が起こる可能性が有ることを見いだした。ゲインの計算を真空中にある 1 枚のフォイルに対して適用し、従って裏と表の 2 つの境界領域について計算を行っている。裏と表の間隔が放射する波長の整数倍で有るとき、2 つの境界から発生する放射には干渉効果が起こる。そして、さらにゲインを増加させる方法として複数のフォイルを規則正しく周期的に並べてそれぞれの放射を干渉させる方法と、電子ビームのバンチサイズを波長の長さにするにより、干渉効果を高めることを提案した。

我々はこの計算で、誘導放射と誘導吸収を量子力学的に計算したが、アインシュタインの A 係数 B 係数の理論と照合した結果、ここに述べたゲインが古典的なレーザーと同じであることを見いだしている。即ち、遷移放射は、原子からの放射ではなく、連続

状態間の遷移であるが、古典的な放射の理論を適用できることを見いだした。従って、レーザーゲインを求めるのに、自発放射を実験的に求めれば、計算できることを見いだした。これは、山田博士が数年前に指摘したことを証明する形となった。

X線レーザーを構成する方法には、自由電子レーザーや、RTR(共鳴遷移放射)レーザーが知られているが、いずれもマイクロバンチングが成長することによりゲインが発生するとしているが、我々の論文では、マイクロバンチングを起こさなくとも、古典的なレーザーの様に増幅が起こることを示している。即ち我々が提案するレーザーは、古典的レーザーの範疇に属し、相対論的電子は、反転分布をつくるための励起源として使われている。従って、電子ビームと放射を単に精密に同期させれば良いことになり、レーザー発振の条件が大幅に緩和される。

(English)

The major aim of this work is to analyze a model of a transition radiation laser based on stimulated emission induced by relativistic electrons crossing the boundary between two media of different dielectric properties. The interaction between the incident radiation and the relativistic electrons in the boundary region of the two dielectric media leads to stimulated emission and absorption of radiation. We applied phenomenological quantum electrodynamics to derive analytical expressions for stimulated emission and absorption probabilities. We see that stimulated emission is greater than stimulated absorption so that there is a possibility of gain. We calculated the gain for a single interface. We also calculated the gain for a single foil which has two interfaces. The expression for single foil gain shows some resonant effect. The gain in this case is further increased when some resonant condition is met. As a way of increasing the gain significantly, we propose the existence of coherent gain when the electron beams are pre-bunched such that the bunch length is comparable or less than the wavelength of the radiation. In order to show, in a fundamental way, the similarity between the basis of this laser and that of classical lasers, we derived and discussed analogs of Einstein's coefficients for the transition processes.

. Our laser concept is fundamentally different from RTR laser analyzed in literature. The RTR laser is similar to conventional FEL, thus the micro bunching process of electron beam is taken into accounts. The laser we analyzed here is in some way similar to classical lasers except that free relativistic electrons are involved, but the micro bunching process is unnecessary. The operation of the laser requires successive overlap of the electron bunches and the radiation at the boundaries of the dielectric media. This overlap requires a matching condition. The condition for this matching has been derived

< 論文審査の結果の要旨 >

相対論的電子が異なる誘電率を有する二つの媒質の境界を通過するときが発生する放射は、遷移放射と呼ばれ、世界各国で研究が行われている。高輝度X線や EUV 光を発生する手段であり、大型放射光に代わる小型汎用装置を開発する目的で研究が行われている。この遷移放射を用いてレーザー発振をさせる研究も成されているが、自由電子レーザーと同じ増幅機構を導入しようとしている。即ち、電子ビームのマイクロバンチング過程を増幅過程と考えている。

これに対して、本論文は、誘導放射と誘導吸収が起きることを想定して、これを理論的に証明したものである。量子電磁力学を用いた計算であるが、誘電率の変化というマクロな物理量を導入することにより、計算を可能としている。フォーマリズムの変換を注意深く行い、適切な近似を導入して計算を完成している。この様な計算を注意深く行ったことに対してまず高い評価が与えられる。

遷移放射は連続状態間の遷移であるが、放射エネルギーを特定した場合に、アインシュタインの A 係数 B 係数の理論と一致することを見いだしたのは面白い試みであり、実用上極めて有用である。何故ならば、自発放射を測定することは困難ではないから、この実験値から増幅率を計算できるからである。

論文は、FEL の概念と古典的なレーザーの概念を融合した新しいレーザーの概念を構築しており、大変ユニークである。新しいスキームを用いるならば、レーザー発振の条件が緩和されるので、10m 程度の装置でX線レーザーを構築できると思われるので、実用的にも意義が深く、当論文は、博士号を授与するのに適切である。

本論文の審査に関して、2010年7月28日(水)13時30分~14時40分電子システム系会議室において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 OKOYE KENNETH EJIKE に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、遷移放射の特性について、レゾナンスの発生について、アインシュタインの A・B 係数の取り扱いについてなどの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。