

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3101713号  
(P3101713)

(45)発行日 平成12年10月23日(2000.10.23)

(24)登録日 平成12年8月25日(2000.8.25)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

H 0 1 J 1/304  
23/04

H 0 1 J 1/30  
23/04

F

請求項の数15(全 6 頁)

(21)出願番号 特願平11-42845  
(22)出願日 平成11年2月22日(1999.2.22)  
(65)公開番号 特開2000-243219(P2000-243219A)  
(43)公開日 平成12年9月8日(2000.9.8)  
審査請求日 平成11年2月22日(1999.2.22)

(73)特許権者 391012394  
東北大学長  
宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号  
(72)発明者 横尾 邦義  
宮城県仙台市太白区八木山本町2-23-6  
(72)発明者 三村 秀典  
宮城県仙台市青葉区栗生1-9-9  
(74)代理人 100059258  
弁理士 杉村 暁秀 (外8名)

審査官 波多江 進

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電界放射陰極およびそれを用いる電磁波発生装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 ガン効果を示すN型の半導体材料より成り、陰極チップを有するエミッタと、この陰極チップを囲む開口を有する絶縁層と、この絶縁層上に前記陰極チップを囲むように形成されたゲート電極と、前記エミッタと電気的に接続されたエミッタ電極とを具え、前記エミッタ電極とゲート電極との間に直流電圧を印加して前記エミッタ領域内に所定の高周波数で周期的に生滅する高電界ドメインを発生させることにより前記陰極チップから前記高周波数で変調された電子ビームを放射させるように構成した電界放射陰極。

【請求項2】 前記エミッタ電極を、前記エミッタの陰極チップを形成した側とは反対側の表面に形成した請求項1に記載の電界放射陰極。

【請求項3】 前記絶縁層とエミッタ電極との間に、前

記エミッタを囲むように真性半導体材料若しくはP型半導体材料より成る高電界ドメイン阻止領域を形成した請求項2に記載の電界放射陰極。

【請求項4】 前記エミッタを囲むようにN+型半導体材料より成るオーム性領域を形成し、前記エミッタ電極をこのオーム性領域と接続すると共に前記絶縁層を経て前記ゲート電極と同じ側に延在させた請求項1に記載の電界放射陰極。

【請求項5】 前記陰極チップを形成したエミッタおよび前記オーム性領域を真性半導体材料上に形成した請求項4に記載の電界放射陰極。

【請求項6】 複数の陰極チップを1次元的に配列して構成された陰極チップ列を複数アレイ状に形成した請求項1～5の何れかに記載の電界放射陰極。

【請求項7】 前記陰極チップを、針状に形成したこと

を特徴とする請求項1～6の何れかに記載の電界放射陰極。

【請求項8】 請求項1～7の何れかに記載の電界放射陰極と、この電界放射陰極から放射される高周波数で変調された電子ビームと相互作用して電磁波を発生する電磁波発生手段とを具える電磁波発生装置。

【請求項9】 前記電界放射陰極から放射される電子ビームの変調周波数をミリ波またはマイクロ波帯域とし、前記電磁波発生手段が、ミリ波またはマイクロ波で変調された電子ビームと相互作用する高周波回路を具える請求項8に記載の電磁波発生装置。

【請求項10】 前記高周波回路が、前記変調電子ビームと相互作用して電磁波を発生する空洞共振器と、この空洞共振器で発生された電磁波を取り出す出力回路とを具える請求項9に記載の電磁波発生装置。

【請求項11】 前記高周波回路が、前記変調電子ビームと相互作用して電磁波を発生する遅波回路を具える請求項9に記載の電磁波発生装置。

【請求項12】 前記遅波回路をヘリックスとした請求項11に記載の電磁波発生装置。

【請求項13】 前記高周波回路が、前記電界放射陰極から放射される変調電子ビームと電磁波との相互作用場を構成するように、電子ビームの通路を挟んで互に対向して配置された周期構造体および反射板を有するファブリ・ペロー共振器を具える請求項9に記載の電磁波発生装置。

【請求項14】 前記高周波回路を透過した電子ビームを補足する集電極を設けた請求項9に記載の電磁波発生装置。

【請求項15】 前記集電極に、前記高周波回路よりも低い電位を与える直流電源を設けた請求項14に記載の電磁波発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子を放射する陰極、特に電界の作用で変調された電子ビームを放射させる電界放射陰極およびこのような電界放射陰極を具える電磁波発生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、電磁波を発生する手段としては、電子ビームデバイス、半導体デバイスおよびレーザが用いられている。電子ビームデバイスとしては、例えばマイクロ波電子管が知られている。このマイクロ波電子管は、電子ビームをマイクロ波の周期に比べて長い時間走行させてマイクロ波エネルギーを得るものであり、一般に高出力を必要とする場合に用いられており、マグネトロンやクライストロンなどが知られている。半導体デバイスは、半導体中を走行する電子の変調によって電磁波を発生するものである。また、レーザは一般に光波を発生するものであるが、赤外レーザも用いられている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来の電磁波発生装置の内、電子ビームデバイスは高出力、高効率を有するという特長があるが、発生する電磁波の波長が短くなると、デバイスを構成する回路構造が小さくなること、電子ビームの変調が困難になること、デバイスの規模が大きくなることなどの欠点がある。

【0004】また、半導体デバイスを用いる電磁波発生装置では、半導体中の電子の走行速度が遅いため、ミリ波帯以下の実用的な電磁波発生装置は開発されていない。さらに、レーザを用いた電磁波発生装置では、発生される電磁波は光波帯が中心であり、遠赤外光の発生には、光励起のガスレーザによるなど、装置が大掛かりとなるとともに発生電磁波が離散的となる欠点がある。このため、ミリ波やマイクロ波帯域の電磁波を高出力および高効率で発生できる実用的な電磁波発生装置は開発されていない。

【0005】したがって、本発明の目的は、ミリ波やマイクロ波帯域内の任意の周波数で変調された電子ビームを効率良く発生することができ、しかも構成が簡単で小型な電界放射陰極を提供しようとするものである。本発明の他の目的は、このような電界放射陰極から発生される電子ビームとの相互作用によって、ミリ波やマイクロ波帯域の電磁波を高出力かつ高効率で発生することができ、しかも構成が簡単で小型な電磁波発生装置を提供しようとするものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明による電界放射陰極は、ガン効果を示すN型の半導体材料より成り、陰極チップを有するエミッタと、この陰極チップを囲む開口を有する絶縁層と、この絶縁層上に前記陰極チップを囲むように形成されたゲート電極と、前記エミッタと電気的に接続されたエミッタ電極とを具え、前記エミッタ電極とゲート電極との間に直流電圧を印加して前記エミッタ領域内に所定の高周波数で周期的に生滅する高電界ドメインを発生させることにより前記陰極チップから前記高周波数で変調された電子ビームを放射させるように構成したものである。

【0007】このような本発明による電界放射陰極においては、前記陰極チップを有するエミッタを構成するガン効果を有するN型半導体材料としては、ガリウム砒素、インジウム燐などの化合物半導体材料を用いることができる。また、電界放射陰極から放射される電子ビームの変調周波数は、陰極チップを有するエミッタの構造、寸法およびそれに印加される電圧等によって決まる。

【0008】このような本発明による電界放射陰極を実施するに当たっては、前記エミッタ電極を、前記エミッタの陰極チップを形成した側とは反対側の表面に形成したり、前記エミッタを囲むように形成されたN<sup>+</sup>型半導

体材料より成るオーム性領域と接続すると共に前記絶縁層を経て前記ゲート電極と同じ側に延在させることができる。後者の場合には、ゲート電極とエミッタ電極とが同じ側に現れることになるので実際の装置に組み込む場合に有利となることが多い。

【0009】さらに本発明による電界放射陰極の好適な実施例においては、前記絶縁層とエミッタ電極との間に、前記エミッタを囲むように真性半導体材料若しくはP型半導体材料より成る領域を形成したり、前記陰極チップを形成したエミッタおよびオーム性領域を真性半導体材料の上に形成することができる。このような真性半導体材料およびP型半導体材料より成る領域は、高電界ドメインの発生領域をエミッタに限定する作用を有するものであるので高電界ドメイン制限領域または高電界ドメイン阻止領域とも呼ばれるものである。

【0010】本発明による電界放射陰極においては、複数の陰極チップを1次元的に配列した陰極チップ列を複数アレイ状に形成するのが好適である。また、陰極チップは、針状に形成した方が電界の集中効果によって電子ビームの発生効率が向上するのでより好適である。

【0011】また、本発明による電磁波発生装置は、上述した電界放射陰極と、この電界放射陰極から放射される高周波数で変調された電子ビームと相互作用して電磁波を発生する電磁波発生手段とを具えるものである。

【0012】本発明による電磁波発生装置の一実施例においては、前記電界放射陰極から放射される電子ビームの変調周波数をミリ波またはマイクロ波帯域とし、前記電磁波発生手段として、ミリ波またはマイクロ波で変調された電子ビームと相互作用する高周波回路を設けることができる。この場合、高周波回路に、変調電子ビームと相互作用して電磁波を発生する空洞共振器と、この空洞共振器で発生された電磁波を取り出す出力回路とを設けることができる。さらに、上述した高周波回路に、変調電子ビームと相互作用して電磁波を発生する遅波回路を設けることもでき、この遅波回路をヘリックス（螺旋遅波回路）で構成することもできる。

【0013】さらに、前記高周波回路に、電界放射陰極から放射される変調電子ビームと電磁波との相互作用場を構成するように、電子ビームの通路を挟んで互いに対向して配置された周期構造体および反射板を有するファブリ・ペロー共振器を設けることもできる。

【0014】さらに、本発明による電磁波発生装置においては、前記高周波回路を透過した電子ビームを補足する集電極を設け、この集電極に、高周波回路よりも低い電位を与えるのが好適である。

【0015】

【発明の実施の形態】図1は本発明による電界放射陰極の第1の実施例の構成を示す断面図である。この電界放射陰極においては、電子ビームを放射する陰極チップ31aを有するエミッタ31をガン効果を示すN型の半導

体材料、本例ではガリウム砒素を以て形成するが、ガン効果を発生する他の半導体材料、例えばインジウム燐を以て形成することもできる。本例においては、陰極チップ31aは先端を針状に尖鋭に形成して電界の集中が起こるようにする。

【0016】このようなエミッタ31を囲むように真性半導体或いはP型半導体材料、本例では真性ガリウム砒素より成る高電界ドメイン阻止領域32を形成し、この領域の上には、陰極チップ31aを囲む開口33aを有する絶縁層33を形成し、この絶縁層の上には開口34aを有するゲート電極34を形成する。また、エミッタ31および高電界ドメイン阻止領域32の他方の表面にはエミッタ電極35を形成する。これらのゲート電極34およびエミッタ電極35は金、ゲルマニウムなどのオーム性の電極材料で形成することができる。

【0017】このような構造の電界放射陰極のゲート電極34とエミッタ電極35との間に直流電源36を接続してこれらの間に直流電圧を印加すると、N型半導体材料より成るエミッタ31中に空間電荷蓄積ドメインや電気二重層ドメインなどの空間電荷による高電界ドメインが発生し、これらの空間電荷は半導体中を走行後、陰極チップ31aから放射される。このとき高電界ドメインを維持する空間電荷の発生、走行、消滅は周期的に繰り返されるので、放射される電子ビームも周期的なものとなる。このような高電界ドメインの生滅の周期は、ガン効果を示すN型半導体のエミッタ31の構造、寸法、ゲート電極34とエミッタ電極35との間に印加される直流電圧等によって定まり、この周期をミリ波またはマイクロ波帯域に容易に設定することができる。このように陰極チップ31aを有するエミッタ31を適当に構成することによってミリ波帯またはマイクロ波帯で変調された電子ビームをゲート電極34の開口34aを経て放射させることができる。このとき、エミッタ31を囲むように形成された真性半導体或いはP型半導体材料より成る高電界ドメイン阻止領域32は、高電界ドメインの発生領域をエミッタのN型半導体材料中に限定する作用を有するものである。

【0018】図2は本発明による電界放射陰極の第2の実施例を示す断面図である。本例では、陰極チップ31aを有するエミッタ31と、エミッタを囲むように不純物を多量にドーピングしたN型半導体材料より成り、したがってエミッタ31との間でオーミック接合を形成するオーム性領域37を、真性半導体領域32上に形成する。

【0019】本例においては、さらにエミッタ電極38を絶縁層33の表面に形成し、絶縁層にあけた貫通孔33bを経てオーム性領域37の表面と接触するように延在させる。このように構成すると、ゲート電極34とエミッタ電極38とは同じ側に配置されることになるので、平面的な構造が得られる。本例においても、ゲート

電極34とエミッタ電極38との間に、ゲート電極が正となるように直流電源36を接続することによってゲート電極の開口34aを経て変調された電子ビームが放射されることになる。

【0020】上述したような本発明による電界放射陰極の各部は1ミクロンからサブミクロンの微細構造を有するものであるが、半導体デバイスの製造のために発展してきた成膜技術、パターニング技術、エッチング技術などの微細加工技術を利用して正確に製造することができる。

【0021】図3は図1に示した本発明による電界放射陰極を用いて構成した電磁波発生装置の一例を示す線図である。ただし、本例では図1に示した電界放射陰極において陰極チップ31aをアレイ状に配列したものを使用する。このような電界放射陰極のゲート電極34とエミッタ電極35との間に直流電源36を接続することにより、陰極チップからミリ波またはマイクロ波帯域の周波数で変調された電子ビーム41がゲート電極の開口34aを経て放射される。この直流電源36は電界放射による電子の放出に寄与するので電界放射用直流電源とも称する。

【0022】このようにして電界放射陰極の陰極チップ31aの表面から放射される変調電子ビーム41は、ゲート電極34と、このゲート電極と対向して配置された空洞共振器42との間に接続された加速用直流電源43によって加速される。このように加速用直流電源43で加速された電子ビーム41は空洞共振器42内の電磁波と相互作用し、この相互作用によりその運動エネルギーが電磁波エネルギーに変換される。このようにして発生されたミリ波またはマイクロ波帯の電磁波は出力回路44を経て外部へ取り出すことができる。相互作用後の電子ビームは、集電極45で回収されるが、第3の直流電源46によりこの集電極に空洞共振器42の電位よりも低い電位を与えることにより電子ビームの運動エネルギーの一部を回収することができる。

【0023】図4は、本発明による電磁波発生装置の他の実施例を示す線図である。本例においても前例と同様に図1に示した電界放射陰極において複数の陰極チップ31aをアレイ状に配列したものを使用する。

【0024】本例では、電界放射陰極の陰極チップ31aから放射されるミリ波またはマイクロ波帯域の周波数で変調された電子ビーム41を、加速用直流電源43によって加速し、金属グレーティングより成る周期構造51と、これと対向して配置された反射板52とで構成されるファブリ・ペロー共振器に導き、ここで発生される電磁界との相互作用によってミリ波またはマイクロ波帯域の高周波数の電磁波を発生させる。このようにして発生させた電磁波は、反射板52にあけた開口52aを経て外部へ導くことができる。また、電磁波との相互作用を行った後の電子ビーム41は、集電極45で回収す

る。上述したように、第3の直流電源46によって、集電極45に周期構造51よりも低い電位を与えることにより、相互作用後の電子ビームの運動エネルギーの一部を回収することができ、電磁波発生効率を高めることができる。

【0025】本例では、発生する電磁波の周波数は、電子ビーム41の変調周波数に合わせて加速用直流電源43の電圧を調整して周期構造51上を走行する電子の速度を調整したり、ファブリ・ペロー共振器を構成する周期構造51と反射板52との間隔を調整することによって広範囲に亘って調整することができる。

【0026】本発明は上述した実施例に限定されるものではなく、幾多の変更や変形が可能である。例えば、上述した電磁波発生装置の実施例においては、高周波発生回路として、空洞共振器およびファブリ・ペロー共振器を用いたが、ヘリックスなどの遅波回路や誘電体装荷回路やマグネティックウィグラーなどの高周波回路を用いることもできる。

【0027】また、本発明による電界放射陰極は、上述した構造の電磁波発生装置に限らず、クライストロンや進行波管などに代表される電子ビームの集束効果と走行時間効果を基本とするマイクロ波管の技術に適用することもできる。さらに本発明によるミリ波またはマイクロ波帯域の変調電子ビームを放射する電界放射陰極は、線形加速器の陰極として利用することで、自由電子レーザーの効率化、小型化など新たな広範な応用が期待される。

【0028】

【発明の効果】上述した本発明による電界放射陰極では、電界放射陰極の陰極チップをガン効果を生じさせるN型半導体材料で構成することによりミリ波またはマイクロ波帯で変調された電子ビームを効率良く発生することができ、しかも構成が簡単で小型となる。さらに、本発明による電界放射陰極は、半導体デバイスの製造技術を利用して高精度に製造することができる。

【0029】さらに、本発明による電磁波発生装置では、上述した電界放射陰極と、この電界放射陰極から放射される変調電子ビームとの相互作用によって電磁波を効率良く発生する電磁波発生手段とを設けたものである。電界放射陰極から発生される電子ビームとの相互作用によって、ミリ波またはマイクロ波帯域までの広帯域に亘って周波数を制御することができる電磁波を高出力かつ高効率で発生することができ、しかも構成が簡単で小型となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は、本発明による電界放射陰極の一実施例の構成を示す線図的な断面図である。

【図2】 図2は、本発明による電界放射陰極の他の実施例の構成を示す線図的な断面図である。

【図3】 図3は、本発明による電磁波発生装置の一実

施例の構成を示す線図的な断面図である。

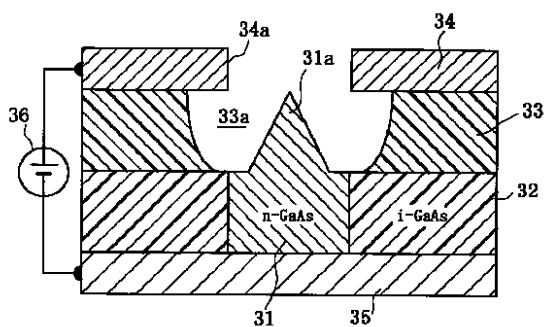
【図4】 図4は、本発明による電磁波発生装置の他の実施例の構成を示す線図的な断面図である。

【符号の説明】

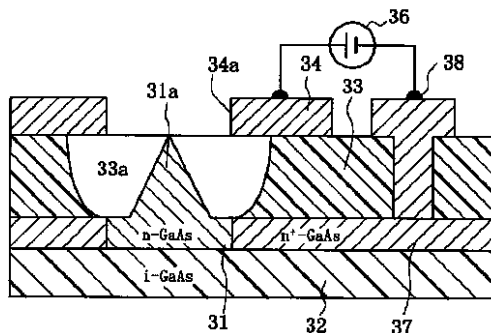
31 エミッタ、 32 高電界ドメイン阻止領域、  
33 絶縁層、 33a 開口、 33b 貫通孔、 3

4 ゲート電極、 34a 開口、 35 エミッタ電  
極、 36 電界放射用直流電源、 37 オーム性領  
域、 38 エミッタ電極、 41 電子ビーム、 42  
空洞共振器、 43 加速用直流電源、 44 出力  
回路、 45 集電極、 46 回収用直流電源、 51  
周期構造、 52 反射器、 52a 開口

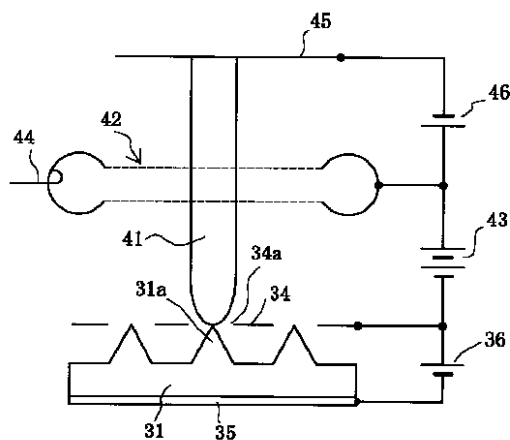
【図1】



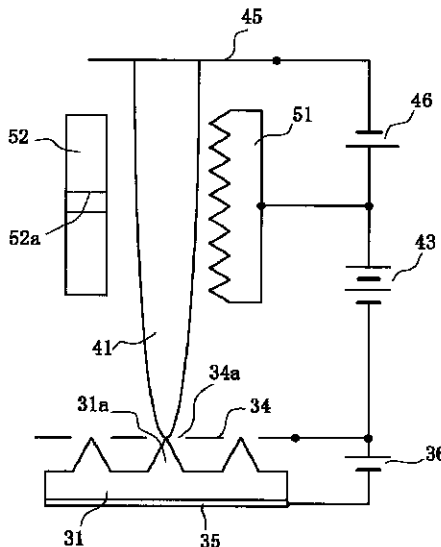
【図2】



【図3】



【図4】



## フロントページの続き

(56)参考文献 特開 平5 - 314892 ( J P , A )  
特開 平8 - 185794 ( J P , A )  
特開 平4 - 118916 ( J P , A )  
特公 昭62 - 55306 ( J P , B 2 )  
特公 平7 - 107829 ( J P , B 2 )  
横尾邦義他、” 光混合電界放射陰極を用いたTHz帯自由電子レーザ”、電子情報通信学会技術研究報告、1998年12月11日、E D98 - 169、p . 7 - 12

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, D B名)  
H01J 1/304  
H01J 23/04 - 23/06  
J I C S Tファイル(J O I S)