

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5377958号
(P5377958)

(45) 発行日 平成25年12月25日(2013.12.25)

(24) 登録日 平成25年10月4日(2013.10.4)

(51) Int.Cl.

F02P 3/01 (2006.01)
F02P 23/04 (2006.01)

F 1

F 02 P 3/01
F 02 P 23/04A
Z

請求項の数 29 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2008-507856 (P2008-507856)
 (86) (22) 出願日 平成18年4月19日 (2006.4.19)
 (65) 公表番号 特表2008-537061 (P2008-537061A)
 (43) 公表日 平成20年9月11日 (2008.9.11)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2006/014840
 (87) 國際公開番号 WO2006/113850
 (87) 國際公開日 平成18年10月26日 (2006.10.26)
 審査請求日 平成21年4月14日 (2009.4.14)
 (31) 優先権主張番号 60/672,892
 (32) 優先日 平成17年4月19日 (2005.4.19)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

前置審査

(73) 特許権者 507347934
 ナイト・インコーポレーテッド
 アメリカ合衆国ニュージャージー州O 8 8
 5 2, マンマウス, ディアー・パーク・ド
 ライブ 1 エイチ
 (74) 代理人 100140109
 弁理士 小野 新次郎
 (74) 代理人 100075270
 弁理士 小林 泰
 (74) 代理人 100096013
 弁理士 富田 博行
 (74) 代理人 100092967
 弁理士 星野 修

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】走行スパーク・イグナイタを高圧で動作させる方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

a. 高電圧をイグナイタに印加するステップであって、前記高電圧が、ブレークダウンを電極間に起こして、前記イグナイタ内の開始領域に高電流放電、及び前記開始領域に隣接したプラズマ・カーネルの形成をもたらすのに十分な振幅である、前記印加するステップと、

b. ブレークダウンに続いて、2つ以上の比較的低電圧のフォローオン・パルスのシーケンスを前記電極に印加するステップと、

c. 前記フォローオン・パルスのシーケンスにおける少なくとも1つのフォローオン・パルス以前の前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するステップと、

10

それにより、前記プラズマ・カーネルが、前記フォローオン・パルスのシーケンスにより前記電極の自由端に向けて移動することを強制される、プラズマ発生方法。

【請求項 2】

a. 高電圧をイグナイタに印加するステップであって、前記高電圧が、ブレークダウンを電極間に起こして、前記イグナイタ内の開始領域に高電流放電、及び前記開始領域に隣接したプラズマ・カーネルの形成をもたらすのに十分な振幅である、前記印加するステップと、

b. ブレークダウンに続いて、電流アーケの前記電極への拡散付加を維持するよう十分に低い電流の2つ以上の比較的低電圧のフォローオン・パルスのシーケンスを前記電極に

20

印加するステップと、

c. 前記フォローオン・パルスのシーケンスにおける少なくとも1つのフォローオン・パルス以前の前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するステップと、を備え、

それにより、前記プラズマ・カーネルが、前記フォローオン・パルスのシーケンスの影響下で前記電極の自由端に向けて移動することを強制され且つ移動することが可能である、プラズマ発生方法。

【請求項3】

前記開始領域が、前記電極間に配設されたアイソレータの表面に又はそれに隣接している請求項1又は2に記載のプラズマ発生方法。

10

【請求項4】

全体のカーネル再結合を阻止する前記ステップが、前記シーケンスのパルス間において、前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分なシマー電流を前記イグナイタの電極間に維持するステップを含む請求項1又は2に記載のプラズマ発生方法。

【請求項5】

前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止する前記ステップが、フォローオン・パルス間の間隔の少なくとも一部分で、前記イグナイタの電極間の電圧をブレークダウン電圧より低くであるが、しかし前記間隔の終了前の前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するために十分な電流を維持させるのに十分な電圧を維持するステップを含む請求項1又は2に記載のプラズマ発生方法。

20

【請求項6】

隣接のフォローオン電流パルスが、一様でない間隔によって分離される請求項1又は2に記載のプラズマ発生方法。

【請求項7】

前記フォローオン・パルスの電流が一定でない請求項1又は2に記載のプラズマ発生方法。

【請求項8】

a. 可燃性燃料の存在下で高電圧をイグナイタに印加するステップであって、前記高電圧が、ブレークダウンを前記イグナイタの電極間に起こして、前記イグナイタ内の開始領域で高電流放電、及び前記開始領域に隣接したプラズマ・カーネルの形成をもたらすのに十分な振幅である、前記印加するステップと、

30

b. ブレークダウンに続いて、2つ以上の比較的低電圧のフォローオン・パルスのシーケンスを前記電極に印加するステップと、

前記フォローオン・パルスのシーケンスにおける少なくとも1つのフォローオン・パルス以前の前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するステップと、を備え、

それにより、前記プラズマ・カーネルが、前記フォローオン・パルスのシーケンスにより前記電極の自由端に向けて移動することを強制される、燃料点火方法。

【請求項9】

前記開始領域が、前記電極間に配設されたアイソレータの表面に又はそれに隣接している請求項8に記載の燃料点火方法。

40

【請求項10】

前記イグナイタが内燃機関内にある請求項8に記載の燃料点火方法。

【請求項11】

全体のカーネル再結合を阻止する前記ステップが、前記シーケンスのパルス間において、前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分な電流であって前記プラズマ・カーネルを通るシマー電流を維持するステップを含む請求項8に記載の燃料点火方法。

【請求項12】

前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止する前記ステップが、フォローオン・パ

50

ルス間の間隔で、前記イグナイタの電極間の電圧を、ブレークダウン電圧より低いがしかし前記間隔の終了前の全体の再結合を阻止するために十分な電流を維持させるのに十分な電圧に維持するステップを含む請求項 8 に記載の燃料点火方法。

【請求項 13】

前記イグナイタは、走行スパーク・イグナイタである請求項 8 から 10 のいずれか一項に記載の燃料点火方法。

【請求項 14】

前記フォローオン・パルスの全てが、同じ極性の電圧及び電流を有するわけではない請求項 8 に記載の燃料点火方法。

【請求項 15】

前記フォローオン・パルスの電流の振幅が一定でない請求項 8 に記載の燃料点火方法。

10

【請求項 16】

前記イグナイタが、高圧力が点火時間に存在する内燃機関の中にある請求項 8 に記載の燃料点火方法。

【請求項 17】

フォローオン・パルスの後で、次のフォローオン・パルスが続き、前記プラズマ・カーネルのイオン化レベルが所望のレベルより下に落ちた時点に、全体の再結合が生じる前に前記プラズマ・カーネルを成長させるのに十分である電流及び比較的低い電圧であって前記電流及び比較的低い電圧でもって前記プラズマ・カーネルを再トリガ又は再ストライкиングするステップを更に含む請求項 8 に記載の燃料点火方法。

20

【請求項 18】

前記プラズマ・カーネルを少なくとも幾らかのフォローオン・パルス対間でシマーリングするステップを更に含む請求項 17 に記載の燃料点火方法。

【請求項 19】

前記フォローオン・パルスの電流の振幅が一様でない請求項 18 に記載の燃料点火方法。

。

【請求項 20】

内燃機関のイグナイタに給電する点火回路であって、

a. 前記イグナイタが内燃機関の燃料・空気混合気の中に配設されるとき、電気的ブレークダウン放電を起こすことが可能である高電圧を高電流で前記イグナイタの電極間の開始領域に与えることにより、プラズマ・カーネルを前記開始領域に前記放電により形成する手段と、

30

b. 比較的低電圧及び低電流のフォローオン・パルスにより前記プラズマ・カーネルを前記電極の自由端に向けて移動することを強制するのに十分な電圧及び電流振幅及びタイミングを有する 2 つ以上の前記比較的低電圧及び低電流のフォローオン・パルスのシーケンスを与える手段と、

c. 前記ブレークダウン放電と前記フォローオン・パルスのシーケンスにおける第 1 のフォローオン・パルスとの間の間隔において、前記間隔における前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分なシマーレベルを前記イグナイタに与える手段と、
を備える点火回路。

40

【請求項 21】

前記フォローオン・パルスの電流の振幅が一様でない請求項 20 に記載の点火回路。

【請求項 22】

電気的ブレークダウン放電を起こすことが可能である高電圧を与える前記手段が、1 次巻線及び 2 次巻線を有する高電圧低インダクタンス点火コイルを含み、

前記 2 次巻線が、前記イグナイタの 1 つ以上の電極に接続するためのリードを有し、

電気的ブレークダウン放電を起こすことが可能である高電圧を与える前記手段が更に、信号を前記 1 次巻線にトリガして、高電圧パルスを前記 2 次巻線に誘発する回路を含む請求項 20 に記載の点火回路。

【請求項 23】

50

比較的低電圧のフォローオン・パルスのシーケンスを与える前記の手段が、
比較的低い電圧源と、

前記フォローオン・パルスのそれぞれに対して、前記比較的低い電圧源により充電されるキャパシタと、

前記リードに接続された前記2次巻線と、前記1次巻線とを有するパルス・トランスフォーマとを備え、

前記パルス・トランスフォーマの前記1次巻線を介して、前記キャパシタが、トリガ信号に応答して放電されて、前記フォローオン・パルスを前記リードに誘発する請求項22に記載の点火回路。

【請求項24】

10

前記フォローオン・パルスの各連続対の間の間隔において、当該間隔における前記プラズマ・カーネルの再結合を阻止するのに十分なシマー電流を前記イグナイタに与える手段を更に含む請求項20に記載の点火回路。

【請求項25】

隣接のフォローオン・パルスの間隔が持続時間において一様でない請求項20から24のいずれか一項に記載の点火回路。

【請求項26】

20

前記点火コイルが、可飽和コアを含み、

前記可飽和コア上に、前記1次巻線及び前記2次巻線が、形成され、

前記可飽和コアは、前記電気的ブレークダウンが生じたとき実質的に飽和し、それにより前記2次巻線が、その後に、実質的に低減されたインダクタンスを有する請求項20に記載の点火回路。

【請求項27】

30

内燃機関のイグナイタに給電する点火回路であって、

a. パルスをイグナイタへの接続のための出力に発生する高電圧パルス発生器であって、前記パルスの最大電圧は、前記イグナイタに供給されたときブレークダウン放電を起こすことが可能であり、且つそれに続く高電流を、前記イグナイタが燃焼・空気混合気の中に配設されるとき前記イグナイタの電極間の開始領域に生じさせることが可能であり、それによりプラズマ・カーネルを前記放電により前記表面に隣接して形成する、前記高電圧パルス発生器と、

b. 比較的低電圧及び低電流のフォローオン・パルスにより前記プラズマ・カーネルを前記電極の自由端に向けて移動することを強制するのに十分な電圧及び電流振幅及びタイミングを有する2つ以上の前記比較的低電圧及び低電流のフォローオン・パルスのシーケンスを前記出力に発生する低電圧パルス発生器と、

c. 前記ブレークダウン放電と前記フォローオン・パルスのシーケンスにおける第1のフォローオン・パルスとの間の間隔において、前記間隔における前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分なシマー電流を前記の出力ラインに供給するシマー電流源と、

を備える点火回路。

【請求項28】

40

前記フォローオン・パルス間において、前記フォローオン・パルス間の間隔の少なくとも一部分で、ブレークダウン電圧より低いがしかし前記間隔中における前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分な電圧を前記イグナイタの電極上に維持する電圧源を更に含む請求項27に記載の点火回路。

【請求項29】

前記フォローオン・パルス後に動作可能な手段であって、前記プラズマ・カーネルのイオン化レベルが所望のレベルより下に落ちた時に、全体のカーネル再結合が生じる前に前記プラズマ・カーネルを成長させるのに十分な電流及び比較的低い電圧であって次のフォローオン・パルスが続く前記電流及び比較的低い電圧でもって前記プラズマ・カーネルを再トリガ又は再ストライキングする手段を更に含む請求項20から28のいずれか一項

50

に記載の点火回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

【関連出願】

本出願は、同じ発明の名称及び譲受人を有し且つその全体を本明細書に援用されている、2005年4月19日に出願された前の米国仮特許出願No. 60/672892の米国特許法35 USC 119(e)下の恩恵を主張するものである。

【0002】

【発明の分野】

10

本発明は、プラズマ発生、点火及び内燃（IC）機関の分野に関する。詳細には、本発明は、点火方法及びそれに使用の点火装置、及び特に、高圧エンジンを含むがしかしそれに限定されない様々な応用のための点火方法及び装置に関連するが、しかしそれに限定されるものではない。より詳細には、一部の局面は、特に、高圧で動作する内燃機関において、走行スパーク・イグナイタ（traveling spark igniter）の性能及び寿命を最大にするための放電電流の走行スパーク・イグナイタへの供給に関する。

【背景技術】

【0003】

様々な理由のため、今日、内燃機関及び類似の燃焼環境において動作することが可能である点火源に対する付随した必要性と共に、それらの環境において圧力を増大することに関心がある。例えば、自動車会社及び内燃機関の製造業者は、従来の内燃機関より高い圧力で動作するICエンジンを有する車両を提供することができるようにならう。しかしながら、今日まで、そのようなエンジンのための実効的で実際的な点火システムがなかった。とりわけ、関心は、イグナイタ（スパーク・プラグ）の寿命及びイグナイタの着火の信頼性にある。

20

【0004】

走行スパーク・イグナイタ（TSI）は、内燃機関用であるがしかし前には高圧エンジン用としてではない有望なスパーク・プラグの代替品として論じられてきたデバイスである。TSIは、例えば、米国特許No. 6,321,733及び米国特許No. 6,474,321を含む多数の従来の特許に示されている。なお、これらの特許は、両方とも、本発明と同じ譲受人に割り当てられ、その全体がTSI装置及び点火システムの説明のため援用されている。

30

【0005】

簡潔には、TSIベースの点火システムは、（ローレンツ力より影響力がより少ない程度で、サーマル・フォース（熱による力）（thermal force）と一緒に（但し、ローレンツ力より影響力が少ない））ローレンツ力によりイグナイタの電極に沿って伝搬され且つ燃焼室の中に推進される大きいプラズマ・カーネルを与える。点火カーネル（即ち、プラズマ）に作用するローレンツ力は、イグナイタの電極でその同じ電流により引き起こされた磁界と相互作用するプラズマ内の放電電流により生成される。ローレンツ力の大きさは、電流の2乗に比例する。常圧（即ち、最大の約120 psi（約827.4 kPa））で動作するエンジンでは、走行スパーク・イグナイタは、それらが発生する大きいプラズマ容量に起因して、典型的には、匹敵する放電エネルギーに関して、従来のスパーク・プラグの場合より数100-200倍大きいことに起因して、従来のスパーク・プラグを超えた著しい利点を与える。効率を増大させ且つ放出を低減させることが、達成可能である。

40

【0006】

しかしながら、より高いエンジン動作圧力に関しては、放電をイグナイタの電極間に開始するため要求されるブレークダウン電圧は、従来の圧力で動作するエンジンの場合より著しく高い。これは、TSIに関して、特にいずれのスパーク・プラグについて問題が生じる。TSIの電極は、従来のスパーク・プラグにおけるように、セラミックのような絶縁材料から形成される、アイソレータと呼ばれる部材により、離間した関係に維持される

50

。より高いブレークダウン電圧は、アイソレータ及び電極の両方について問題を生じさせる。

【0007】

電極間にわたるアイソレータの表面に沿って、ブレークダウン電圧は、それが更にT S Iの電極に更に沿っている場合より、又は電極間に類似のギャップを有するいずれの従来のスパーク・プラグにおける場合より低い。実際に、このブレークダウン電圧の相違は、燃焼室の中の圧力の増大と共に直接変わる。従って、アイソレータの表面に沿ったブレークダウン電圧が圧力と共に増大するにも拘わらず、その増大は、アイソレータの表面から離れた電極の露出部分間のブレークダウン電圧の増大より小さい。ブレークダウンが（プラズマを介した抵抗が急速に降下する結果として）生じるとき、電流は、急速に上昇し、そして非常に大きい電流が、アイソレータの表面に沿って形成しているプラズマに伝導され、従って、そのプラズマに作用するローレンツ力を誘発する。けれども、そのように急速に上昇する電流は、非常に高い温度ばかりでなく、強力な衝撃波をもアイソレータの表面の近傍に生成する。電流が大きければ大きい程、プラズマの膨張及びその結果生じる衝撃波は一層急速である。これらの組み合わされた効果は、アイソレータの変形及び／又は破損を引き起こすことができる。

【0008】

その上、高い電流は、アイソレータの表面の近傍において電極の非常に急速な腐食を引き起こし、そこにおいては、それらの電極は、高電流、熱加熱、及びそれらから結果として生じる熱電子放出によりおかされる。

【0009】

類似の問題が、（低いアスペクト比放電ギャップを有するT S Iとは対照的であるように）高アスペクト比放電ギャップに沿って走行するプラズマ内にローレンツ力を発生するテキサス大学の「レールプラグ（railplug）」設計に基づくイグナイタを用いて明らかにされた。

【0010】

レールプラグ及びT S Iの両方が、著しいプラズマ運動を比較的低い圧力で発生するにも拘わらず、燃焼室圧力が高い圧力まで増大されるとき、プラズマは、様々に拳動し、そしてそれは、不満足な結果を招くこの拳動の差である。低い圧力環境では、圧力がプラズマに作用する力は、比較的小さい。プラズマは、ローレンツ力に応答して電極に沿って容易に移動する。しかしながら、燃焼室圧力が増大されるにつれ、その圧力は、ローレンツ力、従ってプラズマの運動に抵抗するかなりの大きさの力を与える。従って、プラズマは、一層集中されるようになり、そして自身で崩壊する傾向を有し、拡散したプラズマ雲を有する代わりに、非常に局在化したプラズマ、即ち、アークが、電極間に或る一定の電流スレッショルドより下で形成される。これは、低い圧力の場合のプラズマ雲より非常に小さい容量を占有するにも拘わらず、より小さいエネルギーを受け取る。その結果、電流密度が、一層高くなり、そしてアークが存在する電極において、より高い局在化した温度及びより大きい電力密度が、アーク・電極インターフェースに存在する。即ち、電流密度は、それらのインターフェースで極めて高く、低い圧力環境におけるより電極のより大きい局在化した加熱を生じる。次いで、電極のこの局在化した加熱は、電子及びイオンの熱電子放出を生じる。観測された効果は、アークが電極の比較的固定した位置で自身を「攻撃」するように見え、放電エネルギー全体が「付加点」に堆積されるにつれ、電極の腐食が生じる。これは、より低い密度の拡散したプラズマ接触範囲が電極に著しい損傷を与えることなしに電極に沿って移動する低い圧力環境とは対照をなすことである。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

同時に、ローレンツ力及びサーマル・フォースによる影響を受けたプラズマは、アーク付加点から曲がる。これは、磁力線をもはや電極間を流れる電流と直交させないで、所与の電流により生成されるローレンツ力の大きさを低減する。そこで、他の問題に加えて、

10

20

30

40

50

プラズマに印加される原動力 (motive force) に損失がある。

【0012】

全体的には、より低い圧力環境と比較してプラズマ運動の低減、及びアーク付加点での著しく増大した電極摩耗が存在する。

従って、プラズマ発生器に対する必要性、一般的には、改善された点火システムに対する必要性、内燃機関に使用の点火システムに対する必要性、及び点火システムに対する必要性、及び大きい点火カーネルを発生し、高圧エンジンと使用可能であり、且つ商業的に実用的である方法を含む様々な必要性が存在する。

【0013】

走行スパーク・イグナイタが高圧燃焼環境で用いられることになる場合、アイソレータ材料及びイグナイタの電極への上記の負の影響を克服する必要性が更に存在する。例えば、本明細書に援用されている、米国特許No. 5704321、No. 6131542、No. 6321733、No. 6474321、No. 6662793及びNo. 6553981を参照のこと。即ち、アイソレータ及び電極が放電プロセスにより破壊されることなしに、(好ましくは、低圧エンジンの従来のスパーク・プラグの寿命と匹敵した)相当の寿命を呈する、高圧燃焼機関に使用のイグナイタ及び点火システムに対する必要性が存在する。そのような走行スパーク・イグナイタ及び点火システムは、高圧及び極めて高圧(即ち、数百psi(約689.5kPa)の数倍)でばかりでなくより低い従来の圧力でも動作する内燃機関で使用可能であり且つ有効であろうことが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0014】

プラズマを発生して維持し、走行スパーク・イグナイタを動作させ、内燃機関及び他のエンジン、特に高圧内燃機関用の点火を与える新しい方法及び対応の装置により、上記及び他の必要性が対処され、そして利点が、提供される。典型的には、高い初期ブレーカダウン電圧が、イグナイタに印加されて、プラズマ・カーネルをイグナイタのプラズマ開始領域に起こさせるが、しかし好ましくは、ブレーカダウン電流が大きいローレンツ力を生成することを必要としないので、TSI点火の場合に以前に採用されていた電流より低い電流でプラズマ・カーネルをイグナイタのプラズマ開始領域に起こさせる。ブレーカダウン電流パルス後に、様々なメカニズムを用いて、再結合が生じている間にプラズマを長引かせ、そしてプラズマが(典型的には、イグナイタ電極間のアイソレータの表面に又はそれに隣接する)開始領域から容易に切り離される(切り離し可能である)ようになることを可能にする。プラズマが完全に再結合する機会を有する前に、電流は、再びにオンにされて、短いフォローオン(続いて起こる)(follow-on)・エネルギー・パルスを(好ましくは、ブレーカダウン・パルスの電流より実質的に小さい電流で)与える。フォローオン電流パルスは、ローレンツ力の対応パルスを発生して、プラズマをその前の位置から離れるよう、そして更にイグナイタの電極に沿って移動させる。多数のそのようなフォローオン・パルスが、連続したパルス間に「オフ」間隔を持たせて与えられ、その「オフ」間隔中に、1又はそれより多いメカニズムが、プラズマを長引かせ、そしてプラズマの部分的再結合のみを可能にする。これは、「シマーリング(simmering)」と呼ばれる。プラズマの全体の再結合の前に、電流の次のフォローオン・パルスが、プラズマを電極に沿って更に「キック(kick)」し、そして最後のフォローオン・パルスが、プラズマを電極から放出する。シマーリングを引き起こす1つのメカニズムは、イグナイタを流れる電流を比較的低い(しかし、ゼロでない)レベルまで低減することであり、この電流は、「シマー電流」と呼ばれる。代替として、サマー(summer)電流が印加されない場合、類似の効果が、再結合を長引かせそして次のフォローオン・パルスが到着する時点までプラズマ・カーネルの「全体」の再結合を阻止するための多数の他の技術のいずれかを用いることにより、得られる。例えば、フォローオン・パルスが、互いにより密接に続くよう調時され、そして恐らく更に波形整形され、それにより部分的再結合のみがパルス間で生じ、又はそれぞれのフォローオン・パルスに対して高いサブブレーカダウン電圧が先行し、又はプラズマがRF又はレーザ・エネルギーにより励起される。即ち、全体のプラズマ再結合を

10

20

30

40

50

阻止する多数の方法が、意図されている。再結合に関して一緒に記載される用語「全体」は、プラズマが効果的に消滅され、そして高いエネルギーが、それを再点火するため必要とされることが意味する。

【0015】

本発明は、幾つかの方法又は態様で明らかにされ、そして例示の実施形態が、以下に提示される。本発明を実施する他の方法は、当業者に明らかになるであろう。様々な態様が、単独で、又は多くの組み合わせのいずれかで実施され、それらの全てを本明細書で無理なく列挙することはできない。様々な実施形態の特徴は説明する実施形態以外の組み合わせで実施されことが意図され、それらの特徴の全てが、簡潔さのため全ての実施形態に関連して示されているわけではない。

10

【0016】

本発明の局面は、以下のことを少なくとも含む。即ち、

高電圧をイグナイタに印加するステップであって、前記高電圧がブレークダウンを電極間に起こして、前記イグナイタ内の開始領域に高電流放電、及び前記開始領域に隣接したプラズマ・カーネルの形成をもたらすのに十分な振幅である、前記印加するステップと；ブレークダウンに続いて、少なくとも2つの比較的低電圧のフォローオン・パルスのシーケンスを前記電極に印加するステップとを備え；それにより、前記プラズマ・カーネルが、前記フォローオン・パルスにより前記電極の自由端に向けて移動することを強制される、プラズマ発生方法。

【0017】

20

高電圧をイグナイタに印加するステップであって、前記高電圧がブレークダウンを電極間に起こして、前記イグナイタ内の開始領域に高電流放電、及び前記開始領域に隣接したプラズマ・カーネルの形成をもたらすのに十分な振幅である、前記印加するステップと；ブレークダウンに続いて、電流アーケの前記電極への拡散付加を維持するよう十分に低い電流の1又はそれより多い比較的低電圧のフォローオン・パルスのシーケンスを前記電極に印加するステップとを備え；それにより、前記プラズマ・カーネルが、前記フォローオン・パルスの影響下で前記電極の自由端に向けて移動することを強制され且つ移動することが可能である、プラズマ発生方法。

【0018】

30

点火領域は、前記電極間に配設されたアイソレータの表面に又はそれに隣接し得る。内燃機関用フォローオン・パルスの電流は、約3アンペアと450アンペアとの間であり得る。本方法は、少なくとも1つのフォローオン・パルスの前にプラズマの全体のカーネル再結合を阻止するステップを含み得る。これは、様々な方法で行われ得て、それには、シーケンスのパルス間で、プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分なシマーディスクをイグナイタ電極間に維持することが含まれる。それはまた、フォローオン・パルス間の間隔の少なくとも一部分で、前記イグナイタの電極間の電圧をブレークダウン電圧より低くであるが、しかし前記間隔の終了前の全体のカーネル再結合を阻止するために十分な電流を維持させるのに十分な電圧を維持するステップを含み得る。イグナイタは、走行スパーク・イグナイタで有り得る。前記シーケンスの連続したパルスは、約2-600マイクロ秒、好ましくは約20-250マイクロ秒、最も好適には50-100マイクロ秒の間隔により分離される。前記フォローオン・パルスのそれぞれは、約3-450アンペアの最大振幅を有し得る。振幅は、一様でなくてもよい。フォローオン・パルスは、約20-120アンペアの最大振幅を有し、それは一様でなくてもよい。前記フォローオン電流のそれぞれは、約200マイクロ秒より少ない平均持続時間を持つのが好ましく、それは一様でなくてもよい。フォローオン・パルスは、約10-5000Vの振幅、好ましくは約20-275Vの振幅を有し得る。フォローオン・パルスは、全てが同じ極性の電圧及び電流を有する必要はなく、そしてフォローオン・パルスの電流は、一定である必要はない。

40

【0019】

可燃性燃料の存在下で高電圧をイグナイタに印加するステップであって、前記高電圧が

50

ブレークダウンを前記イグナイタの電極間に起こして、前記イグナイタ内の開始領域で高電流放電、及び前記開始領域に隣接したプラズマ・カーネルの形成をもたらすのに十分な振幅である、前記印加するステップと；ブレークダウンに続いて、2又はそれより多い比較的低電圧のフォローオン・パルスのシーケンスを前記電極に印加するステップとを備え；それにより、前記プラズマ・カーネルが、前記フォローオン・パルスにより前記電極の自由端に向けて移動することを強制される、燃料点火方法が提供される。点火領域は、前記電極間に配設されたアイソレータの表面に又はそれに隣接し得る。イグナイタは、内燃機関内にあり得る。ガソリン燃料の内燃機関のためのフォローオン・パルスの電流は、約3アンペアと450アンペアとの間であり得る。前記方法は、フォローオン・パルスの前にプラズマの全体のカーネル再結合を阻止するステップを含むことが好ましい。

10

【0020】

全体のカーネル再結合を阻止するステップは、シーケンスのパルス間で、プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分な電流（これは、シマーラインと呼ばれる。）であってプラズマ・カーネルを通る電流を維持するステップを含む。プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するステップはまた、フォローオン・パルス間の間隔で、前記間隔の少なくとも一部分で、ブレークダウン電圧より下であるが当該間隔の終了前の全体の再結合を阻止するために十分なプラズマを流れる電流を維持するのに十分な電圧であってイグナイタの電極の両端にかかる電圧を維持するステップを含み得る。

【0021】

フォローオン・パルスは、全てが同じ極性の電圧及び電流である必要はなく、それは一定である必要はない。

20

イグナイタは、点火時に内部が比較的高圧である内燃機関内にあり得る。

【0022】

本方法は、更に、フォローオン・パルス後に、プラズマ・カーネルのイオン化レベルが所望のレベルより下に落ちた時点で、プラズマ・カーネルを全体の再結合の前に成長させるのに十分な電流及び比較的低い電圧であって、次のフォローオン・パルスが続く当該電流及び比較的低い電圧でもってプラズマ・カーネルを再トリガ又は再ストライキング（re-striking）するステップを含み得る。

【0023】

本方法はまた、プラズマ・カーネルを少なくとも幾らかのフォローオン・パルス対間でシマーリングするステップを含み得る。

30

内燃機関のイグナイタに給電する点火回路であって、前記イグナイタが内燃機関の燃料・空気混合気の中に配設されるとき、電気的ブレークダウン放電を起こすことが可能である高電圧を高電流で前記イグナイタの電極間の開始領域に与えることにより、プラズマ・カーネルを前記開始領域に前記放電により形成する手段と；比較的低電圧低電流のパルスにより前記プラズマ・カーネルを前記電極の自由端に向けて移動することを強制するのに十分な電圧及び電流振幅及びタイミングを有する前記の1又はそれより多い比較的低電圧及び低電流のパルスのシーケンスを与える手段とを備える点火回路が提供される。電気的ブレークダウン放電を起こすことが可能である高電圧を与える前記手段が、1次巻線及び2次巻線を有する高電圧低インダクタンス点火コイルを含み得て、前記2次巻線が、前記イグナイタの1つの電極に接続するためのリードを有し、電気的ブレークダウン放電を起こすことが可能である高電圧を与える前記手段が更に、信号を前記1次巻線にトリガして、高電圧パルスを前記2次巻線に誘発する回路を含み得る。比較的低電圧のパルスのシーケンスを与える前記の手段が、比較的低い電圧源と；前記パルスのそれぞれに対して、前記比較的低い電圧源により充電されるキャパシタと；前記リードに接続された2次巻線と、1次巻線とを有するパルス・トランスフォーマとを備え；前記パルス・トランスフォーマの1次巻線を介して、前記キャパシタが、トリガ信号に応答して放電されて、前記パルスを前記リードに誘発する。前記点火回路が更に、前記ブレークダウン放電と第1のフォローオン・パルスとの間の間隔において、前記間隔における前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分なシマーラインを前記イグナイタに与える手段を含み得る。

40

50

それはまた、フォローオン・パルスの各連続対の間の間隔において、当該間隔における前記プラズマ・カーネルの再結合を阻止するのに十分なシマ-電流を前記イグナイタに与える手段を含み得る。前記点火コイルが、可飽和コアを含み、前記可飽和コア上に、前記1次及び2次巻線が、形成され、前記可飽和コアは、前記電気的ブレーカダウンが生じたとき実質的に飽和し、それにより前記2次巻線が、その後に、実質的に低減されたインダクタンスを有することが好ましい。

【0024】

内燃機関のイグナイタに給電する点火回路であって、パルスをイグナイタへの接続のための出力に発生する高電圧パルス発生器であって、前記パルスの最大電圧は、前記イグナイタに供給されたときブレーカダウン放電を起こすことが可能であり、且つそれに続く高電流を、前記イグナイタが燃焼-空気混合気の中に配設されるとき前記イグナイタの電極間の開始領域に生じさせることが可能であり、それによりプラズマ・カーネルを前記放電により前記表面に隣接して形成する、前記高電圧パルス発生器と；比較的低電圧及び低電流のフォローオン・パルスにより前記プラズマ・カーネルを前記電極の自由端に向けて移動することを強制するのに十分な電圧及び電流振幅及びタイミングを有する前記の1又はそれより多い比較的低電圧及び低電流のフォローオン・パルスのシーケンスを前記出力に発生する低電圧パルス発生器とを備える点火回路が提供される。また、前記ブレーカダウン放電と第1のフォローオン・パルスとの間の間隔において、前記間隔における前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分なシマ-電流を前記の出力ラインに供給するシマ-電流源が、含まれ得る。更には、フォローオン・パルス間ににおいて、前記フォローオン・パルス間の間隔の少なくとも一部分で、ブレーカダウン電圧より低いがしかし前記間隔中における前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分な電圧を前記イグナイタの電極上に維持する電圧源が、あってよい。

10

20

【0025】

図面に、特に図8から図10のうちのいずれかに実質的に示され且つ記載される点火回路が提供される。

点火回路はまた、フォローオン・パルス後に動作可能な手段であって、前記プラズマ・カーネルのイオン化レベルが所望のレベルより下に落ちた時に、全体のカーネル再結合が生じる前に前記プラズマ・カーネルを成長させるのに十分な電流及び比較的低い電圧であって次のフォローオン・パルスが続く前記電流及び比較的低い電圧でもって前記プラズマ・カーネルを再トリガ又は再ストライキングする手段を含み得る。

30

【0026】

添付図面を尺度通り描くことは意図していない。図面において、様々な図面に示されているそれぞれの同一又は同一に近い構成要素は、類似の参照番号により表されている。理解しやすいように、全ての図面において全ての構成要素に参照番号が付されているわけではない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

ここで、本発明の多くの局面がより詳細に、また本発明により対処される問題が上記より一層詳細に、そして本発明の局面を実施するための点火回路の一例の単一実施形態が、説明される。

40

【0028】

第1の局面に従って、内燃機関のイグナイタを動作させる方法であって、高電圧をイグナイタに印加するステップであって、前記高電圧がブレーカダウンを電極間の開始領域（例えば、アイソレータの表面の上方）に起こして、前記イグナイタに高電流放電を且つ前記の表面に隣接した燃料-空気混合気の中にプラズマ・カーネルの形成をもたらすのに十分な振幅である、前記印加するステップと；ブレーカダウンに続いて、（好ましくはシマ-電流）及び1又はそれより多いより低い電圧及びより低い電流パルスのシーケンスを前記電極に印加するステップとを備え；それによりプラズマ・カーネルが、前記のより低い電圧より低い電流パルスにより前記電極の自由端に向けて移動することを強制される方

50

法が示されるであろう。

【0029】

ブレークダウンとシーケンスの第1のパルスとの間、及びシーケンスのパルス間で、プラズマ・カーネルを通る電流であって、プラズマの全体の再結合を阻止するのに十分な電流が、維持されることが望ましい。代替として、そのような電流は、ブレークダウンとシーケンスの第1のパルスとの間、及びシーケンスの追加のフォローオン・パルス間の間隔が十分短く、それにより全体の再結合がそのようなパルスの開始前に起きない場合は維持する必要はない。（全体の再結合が起きる場合、高いブレークダウン電圧は、プラズマ形成プロセスを再開するため必要である。）全体の再結合がフォローオン・パルスの開始前に（どうあろうとも）回避されるならば、フォローオン・パルスは、（多数の以前のアプローチと比較して、しかし更にはっきりとわかるほどに）比較的低い電流パルスであることができ、そしてそれは、更に、プラズマを進めるための適切なローレンツ力を与えるであろうし、そしてそれは、それ自身で、電極に沿って移動する電流アークを生成するであろう。別の代替として、再結合は、フォローオン・パルスの開始前に比較的高い（しかしブレークダウンより小さい）電圧を電極間に印加することにより遅くすることができる。3つの全てのメカニズムが、高エネルギー・ブレークダウン状態の再発生を必要とするこ¹⁰となしに、運動するプラズマ・カーネルの確立を容易にして、電流経路が固定の位置で電極に「再び付く（re-attach）」傾向を低減する。フォローオン・パルスの数は、設計要件及び／又は動作条件に応じて変わる。

【0030】

20

イグナイタは、走行スパーク・イグナイタであることが好ましい。

シーケンスの第1のパルスが、ブレークダウン放電に、約2マイクロ秒から約100マイクロ秒までの間隔、好ましくは約10マイクロ秒から20マイクロ秒までの間隔だけ後に続くことが望ましいが、しかしこれは、用いられている特定の種類の燃料混合物でのプラズマの再結合時間に依存するであろう。前記フォローオン・パルスのそれぞれは、約5-200アンペアの最大振幅を有することが望ましい。しかし、振幅は、一様である必要はない。前記のより低い電圧より低い電流パルスが、約25-105アンペアの最大振幅、より好ましくは約40-80アンペアの最大振幅を有することが好ましい。パルスは、約2マイクロ秒から約200マイクロ秒の持続時間有する。前記シーケンスの連続したパルスは、約10-500マイクロ秒の間隔、更により好ましくは40-120マイクロ秒だけ分離されていることが好ましいが、しかしその間隔は、一様でなくともよい。電圧の点では、前記パルスのそれぞれは、典型的には、約50-5000Vの振幅、より好ましくは約300-500Vの振幅を有する。全てのパルスは、同じ極性の電圧又は電流を有する必要はなく、そしてパルスの電圧も電流も、一定である必要はない。前述の数字は、全て、単に代表的なものであり、本発明へのいずれの固有の制限を表す意図ではない。他の範囲を適当な実施形態で採用し得る。しかしながら、これらの数字は、他の点火システム及び方法との差を識別するための助けとして有効である。

30

【0031】

本発明は、高圧エンジンに使用することを意図しているが、しかしそれに限定されるものではない。

40

関連した局面に従って、内燃機関のイグナイタに給電する点火回路であって、前記イグナイタが燃料・空気混合気の中に配設されるとき、ブレークダウン放電を起こすことが可能である高電圧を比較的高電流（しかし、好ましくは用いられていた従来のTSI点火より低い）で前記イグナイタの電極間の開始領域（例えば、電極同士を分離するアイソレータの表面に又はその上方）に与えることにより、プラズマ・カーネルを前記表面に引接して前記放電により形成する手段と；比較的低電圧及び低電流のフォローオン・パルスにより前記プラズマ・カーネルを前記電極の自由端に向けて移動させるローレンツ力を生成するのに十分な電圧及び電流振幅及びタイミングを有する前記の1又はそれより多い比較的低電圧及び低電流のパルスのシーケンスを与える手段とを備える点火回路が提供される。電気的ブレークダウン放電を起こすことが可能である高電圧を与える前記手段が、1次巻

50

線及び2次巻線を有する高電圧低インダクタンス点火コイルを含み得て、前記2次巻線が、前記イグナイタの1つの電極に接続するためのリードを有し、そして電気的ブレークダウン放電を起こすことが可能である高電圧を与える前記手段が更に、信号を前記1次巻線にトリガして、高電圧パルスを前記2次巻線に誘発する回路を含み得る。

請求項50記載の点火回路。

【0032】

比較的低電圧（例えば、サブブレークダウン電圧）のパルスのシーケンスを与える前記の手段が、比較的低い電圧源と；前記パルスのそれぞれに対して、前記比較的低い電圧源により充電されるキャパシタと；前記リードに接続された1次巻線、及び2次巻線を有するパルス・トランスフォーマとを備え得て、前記パルス・トランスフォーマの2次巻線を介して、前記キャパシタが、トリガ信号に応答して放電されて、前記パルスを前記リードに誘発する。前記点火回路は更に、前記ブレークダウン放電と第1のフォローオン・パルスとの間の間隔において、前記間隔における前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分なシマーラインを前記イグナイタに与える手段を含み得る。それはまた、連続したフォローオン・パルス間の間隔において、当該間隔における前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分なシマーラインを前記イグナイタに与える手段を含み得る。代替として、比較的低い電圧パルスのシーケンスを与える手段は、プラズマ・カーネルの全体の再結合が或る一定の時間間隔で起こらない程十分短い当該時間間隔だけ分離されたパルスを与える手段を含む。別の代替として、比較的低い電圧パルスのシーケンスを与える前記手段は、そのようなフォローオン・パルスのそれぞれより前に高いサブブレークダウン電圧を先行させる手段を備え得る。

10

20

【0033】

更なる局面に従って、内燃機関のイグナイタに給電する点火回路であって、パルスをイグナイタへの接続のための出力に発生する高電圧パルス発生器であって、前記パルスの最大電圧は、前記イグナイタに供給されたときで且つ前記イグナイタが燃焼・空気混合気の中に配設されるときブレークダウン放電を高電流で前記イグナイタの電極間の開始領域で起こすことが可能であり、それによりプラズマ・カーネルを前記放電により前記表面上に隣接して形成する、前記高電圧パルス発生器と；比較的低電圧低電流のパルスにより前記プラズマ・カーネルを前記電極の自由端に向けて移動することを強制するのに十分な電圧及び電流振幅及びタイミングを有する前記の1又はそれより多い比較的低電圧及び低電流のパルスのシーケンスを前記出力に発生する低電圧パルス発生器とを備える点火回路が示される。点火回路は更に、前記ブレークダウン放電と第1のフォローオン・パルスとの間の間隔において、前記間隔における前記プラズマ・カーネルの全体の再結合を阻止するのに十分なシマーラインを前記の出力に供給するシマーライン源を含み得る。代替として、回路は、その出力で、プラズマの全体の再結合がそのようなパルス間の間隔で起きない程互いに密接して続く（例えば、十分短い間隔により分離されている）フォローオン・パルスを供給するフォローオン・パルス発生器を含み得る。別の代替として、回路は、比較的低い電圧パルスのシーケンスを与えるパルス源と、そのようなフォローオン・パルスのそれぞれより前に起き、全体の再結合が比較的低い電圧パルスが開始するとき起きないように全体の再結合を遅延させるのに十分なサブブレークダウン高電圧を有する高電圧源とを含み得る。

30

40

【0034】

従って、この発明は、その応用において、以下の記載で説明され、又は図面に示された構成の詳細及び構成要素の配置に限定されるものではない。本発明は、他の実施形態が可能であり、そして様々な方法で実施又は実行されることが可能である。いずれの実施形態も例示としてのみ提示されているものである。また、本明細書で用いられている用語及び術語は、説明のためであり、限定とみなすべきでない。「含む」、「備える」、又は「有する」、「含有する」、「包含する」、及びそれらの変形の使用は、その後にリストされるアイテム、及びその均等物並びに追加のアイテムを包含することを意味する。

【0035】

50

ここで、イグナイタを高圧エンジンで動作させようと試みるときに遭遇される問題をより良く理解することを試みることは有効である。走行スパーク・イグナイタ(TSI)は、小さいプラズマ・ガンの性質を帯びている点火装置である。典型的なTSIが、米国特許No. 6,321,733から取られた図1に示されている。アイソレータ(例えば、セラミック)材料14は、電極間隔を維持する。プラズマ16は、高電圧ブレークダウン・プロセスがそこで生じることに起因して、アイソレータの表面に沿って生成される。放電電流がプラズマを通るので、プラズマの温度及び容量は、増大し、プラズマ固有抵抗及び抵抗の更なる低減を招く。これは、プラズマの中の電流を増大させ、それは、イグナイタに供給される電流を生成する放電回路のインピーダンスにより主に制限される。

【0036】

10

TSIを動作させる典型的な点火回路が、図2に示され、それはまた米国特許No. 6,321,733から取られたものである。点火回路は、2つの主要部、即ち、(1)従来の点火システム42と、(2)参照番号46及び48で示すようなキャパシタ、低電圧電源44及びダイオード50を備えるフォローオン電流発生器とから成る。従来の点火システム42は、スパーク・ギャップで、電極18と20との間のアイソレータ表面56に沿ってブレークダウン(高電流で)を生成するための高電圧を与えて、その表面近くのガス状燃焼混合物の中に初期プラズマを形成する。フォローオン電流発生器は、スパーク・ギャップにブレークダウン放電後に、初期プラズマを通る電流を与えて、遙かに大きいプラズマ容量を形成する。キャパシタ48からの最大電流を制限するため抵抗54を用いてもよい(が、必ずしもそうする必要はない)。典型的な電圧放電プロフィール(尺度通りでない。)が、米国特許No. 6,474,321から取られた図3に示されている。

【0037】

20

従来の点火システム42は、放電ギャップでの放電を時点 $t = t_0$ で開始する。その結果、高電圧(HV)点火トランスフォーマの2次コイルの電圧は、それがスパーク・ギャップでのブレークダウン電圧に $t = t_1$ で到達するまで、上昇する。ブレークダウンが $t = t_1$ で生じた後で、放電ギャップ間の電圧は、低いプラズマ固有抵抗に対応する $t = t_2$ での約500V又はそれより小さい値まで急速に降下する。電圧は、キャパシタ46及び48からの殆ど全てのエネルギーが転送されてしまったときの時点 $t = t_3$ まで実質的に一定であり、それに続いて、電圧及び電流が $t = t_4$ でのゼロ近くの値に急速に減少する。簡単にするため、我々は、 t_3 から t_4 までの間隔は、無視しうる程短いと仮定する。間隔 $t = t_3 - t_2$ は、キャパシタ46及び48に蓄積されたエネルギー並びにブレークダウンが生じた後に放電ギャップを流れるフォローオン電流の電圧と関連する。次のエネルギー・バランス方程式は、これらの変数を関連付ける。

【0038】

30

【数1】

$$\frac{1}{2}C(V_{t_2}^2 - V_{t_4}^2) = \int_{t_2}^{t_4} V(t)i(t)dt$$

40

【0039】

ここで、 $V(t)$ は時間の関数で、放電ギャップを規定する電極間の電圧であり、そのような電圧は、初期値 V_{t_2} を時点 t_2 で有し、最終値 $V_{t_4} = 0$ を時間 $t > t_4$ で有し、 $i(t)$ はスパーク・ギャップの電流で時間の関数であり、そして C は放電キャパシタンスの和(ここでは、キャパシタ46及び48のキャパシタンスの和)である。時間間隔 $t = t_3 - t_2$ において、第1の近似として、 $V(t) \approx V_0$ であって、おおよそ一定で、従って $V_{t_2}^2 - V_{t_4}^2 \approx V_0^2$ であると仮定することができる。更にプラズマ固有抵抗が一定であると仮定する場合、 $i(t) \approx i_0$ と仮定することができる。これらの単純化した仮定を用いて、 $t_4 - t_3 \ll t$ 故に $t_4 - t_2$ と C, V_0 及び i_0 により表される回路パラメータとの間の基本的関係である次の式を得ることがで

50

きる。

【0040】

【数2】

$$\Delta t = CV_0/2i_0$$

【0041】

この単純な関係は、パルス持続時間についての情報をキャパシタ上の所与の動作（比較的低い）電圧 V_0 に対して、キャパシタンス及び放電中の平均電流の関数として与える。イグナイタに与えられる所与のエネルギー（従って、所与の V_0 及び C ）に関して、この関係は、電流 i_0 が増大するため、パルス持続時間 t が低減しなければならないことを教示する。しかしながら、電流 i_0 を増大することはまた、ローレンツ力 F_L を増大する。ローレンツ力を増大することにより、プラズマは、アイソレータ表面から遠ざかるよう一層速く、そして電極の自由端に向け、更にエンジンの燃焼室の中に移動する。しかしながら、燃焼室の圧力は、イグナイタの中の対抗圧力による力 F_p を与える。力 F_p は、ローレンツ力に対抗して働き、プラズマの速度が電極の長さ l （即ち、 l は、アイソレータと燃焼室の中に面している電極の自由端との間の距離である。）とは独立の或る制限値により上に増大することを阻止する。

【0042】

プラズマを移動させるために利用可能な正味の力は、（プラズマ上のサーマル・フォースがプラズマ伝搬のより早期の段階でのみ大きく、そしてプラズマがアイソレータ表面から遠ざかるように移動するにつれ急速に減少するので、そのプラズマ上のサーマル・フォースを無視することができることを仮定すると）ローレンツ力 F_L と圧力による力 F_p との差である。圧力による力に打ち勝つ仕方を理解するためその力のモデルを開発することは有効である。ローレンツ力 F_L は、周知の関係 $p_B = B^2 / 8\pi$ に実効プラズマ表面積を乗じたものにより与えられたプラズマへの磁気圧力 p_B として表されることができる。

【0043】

【数3】

$$F_L = \frac{B^2}{8\pi} S_{pl}$$

【0044】

ガス圧力による力 F_p は、 $F_p = p S_{p1}$ の形式で表されることができ、ここで、 p は、（その移動中におけるプラズマに面する）燃焼混合物からの実効ガス圧力である。従つて、プラズマの移動を支配する正味の力についての方程式は、次のように表すことができる。

【0045】

【数4】

$$(F_L - F_p) = m_{pl} \cdot dv_{pl} / dt,$$

【0046】

ここで、 v_{p1} はプラズマ速度であり、 m_{p1} はプラズマ質量である。次いで、プラズマ質量は、プラズマ質量密度 ρ_1 とプラズマ容量 $V_{p1} = S_{p1} l_{p1}$ の積として表すことができる。ここで、 l_{p1} は、プラズマにより瞬間に占有される電極の長さの一部を表す端数である。

【0047】

正味の力の方程式は、単純化することができ、そして有効な関係が、幾らかの大まかな仮定を行うことによりそれから導出される。プラズマの形成後のそのプラズマ容量は、ブ

10

20

30

40

50

ラズマが電極に沿って伝搬するので一定であると仮定することができる。従って、 S_{p_1} 、 l_{p_1} 及び ρ_1 は一定であり、そして力 F_L 及び F_p がまた一定である。次いで、積分することにより次式が得られる。

【 0 0 4 8 】

【数5】

$$(F_L - F_p)\Delta t \approx \rho_{pl} \Delta \ell_{pl} S_{pl} v_{pl},$$

【 0 0 4 9 】

ここでは、初期プラズマ速度 v_{t2} がその最終速度 v_{p1} より非常に小さいことを仮定している。

F_L を B^2 (ここで $B = (8 \quad i)$) により置換し、 i は一定の係数であり、 F_P は上記の通りであるとすると、次式を得る。

【 0 0 5 0 】

【数6】

$$(\alpha i_0^2 - p) \Delta t = \rho_{pl} \Delta l_{pl} v_{pl}.$$

【 0 0 5 1 】

1 / 2 $t V_{p_1}$ 1 であるので、次のように書くことができる。

【 0 0 5 2 】

【数7】

$$\Delta t = \frac{1}{i_0} \left(\frac{2\ell \rho_{pl} \Delta \ell_{ep} / \alpha}{1 - p / \alpha i_0^2} \right)^{1/2}$$

【 0 0 5 3 】

この方程式から、比較的小さい圧力（即ち、 $p < < i_0^2$ ）に対して、 $t i_0$ 一定であり、そしてこのパラメータの範囲において、 i_0 を増大することは、結局 t を低減することとなることが分かる。従って、上記の関係から、実際に放電エネルギーを増大することなしに（勿論、これは、 $p_1 l_{p1}$ 一定に対して正しく、 i_0 を増大することにより、 $p_1 l_{p1}$ も増大し、そこで、幾らかの追加のエネルギーが必要とされる。）、 i_0 を増大することによりプラズマをより速く移動させることができることを知ることができる。

【 0 0 5 4 】

しかしながら、 $p < < i_0^2$ であることが正しくない（即ち、仮定が失敗している）とき、圧力 p を増大することは、 $p / i^2 > 1$ となり、そしてプラズマは、移動することを全く停止することができるであろう。そのような場合、 $i > i_0$ を、 $p / i^2 < 1$ である点まで増大することが必要であろう。しかしながら、これは、増大された t 及び i に起因して、エネルギーの著しい増大を要求する。

【 0 0 5 5 】

プラズマにおける再結合プロセスは、更なるハードルを提起する。比較的冷たい燃焼混合物と対照的である熱いプラズマの前部は、急速に冷える。高圧でのプラズマ再結合速度は、プラズマ温度 T の関数であり、 $1 / T^{3/2}$ で変わる。従って、低い温度では、プラズマ再結合は、その伝搬前部で非常に早く生じ、そこでは、それは、冷たいガス状混合物と相互作用する。高圧では、そのような再結合速度は、プラズマ伝搬速度と同じように速くすることができ、それは、ローレンツ力、即ち誘発された移動は、再結合の速度により全体的に打ち消され、プラズマを実効的に静止した状態にさせることを意味する。そのような状況では、電極に沿った正味のプラズマ速度は、実質的にゼロであり、そしてプラズマは、全体の放電中にアイソレータの表面近くに留まるように見えるであろう。勿論、ブ

ラズマは、アイソレータの表面近くで、同様に、だが非常に遅い速度で再結合する。それは、そのガスがラズマの前端部におけるより遙かに熱いからである。従って、アイソレータ表面近くのラズマ固有抵抗は、ラズマの前端部におけるより低く、そして大部分の放電電流は、その領域に集中され、アイソレータ近くでの更なるラズマ再結合を阻止する。

【0056】

上記で示したように、動作燃焼室圧力を増大することは、ラズマに対する正味の原動力を低くし、そこでそれはより遅く移動し、従って、ラズマが燃焼室へ移動するのにかかる時間は、増大する。従って、十分に大きい圧力については、ラズマは、首尾良くイグナイタの端部に到達することはない。

10

【0057】

ラズマがそのように非常に遅くなることを阻止するため、放電電流は、ラズマに供給されるエネルギーを増大するために上昇されねばならない。しかしながら、増大したエネルギー入力は、アイソレータ近くに集中される。それは、極めて問題である。アイソレータにかかる熱応力があり、そしてアイソレータに損傷を与えることができる衝撃波が、発生される。また、アイソレータ近くの電極の一部分への大きい熱の影響がある。点火回路がラズマを実効的に移動させる正味の力を生成するのに十分なエネルギーを供給すると仮定した場合、燃焼室の圧力が高ければ高いほど、アイソレータ及び電極への負の影響はそれだけ悪くなる。これらの状態は、それらの負の影響力を阻止するためには何も行われない場合、高圧環境でのアイソレータ及び電極の寿命を低減する。

20

【0058】

増大したガス（即ち、燃焼混合気体）の圧力を有する走行スパーク・イグナイタの寿命を低減する問題は、少なくとも一部分、ラズマの前部（燃焼室に面している。）とラズマの背部（アイソレータに面している。）との再結合の速度の差を低減することにより、著しく低減され、又は更には排除される。ラズマ再結合を一層対称にすることにより、ラズマに対するかなりの正味の力が、燃焼室の中に指向される。

【0059】

図4は、その問題を概略的に示す。比較的短い第1の電流パルスは、破線により示されるようにラズマ42の容量を形成する。その第1のパルス中に、ラズマの中心は、ローレンツ力の影響下で、右に移動し、アイソレータ14から離れる。パルスが比較的短い持続時間であるので、アイソレータ表面もその表面近くのガスも大きくは加熱されない。従って、第1の電流パルスが終了した後では、ラズマ再結合はその背部（左）側とその前部（右）側とでは全く対称であり、比較的狭いラズマ・カーネル44が残る。狭いラズマ・カーネル44は、上記で説明したように、依然アーカーをサポートすることができる。

30

【0060】

本発明は、イグナイタにエネルギーを与える異なったアプローチを用いることによりラズマ再結合の対称性を改善する。幾つかの短い電流放電バースト（フォローオン・パルス）は、ブレークダウン・パルス後で時点 t_2 と t_3 との間に印加される。フォローオン・パルスは、適度に高いピーク電流振幅を有するが、しかしブレークダウン・パルスより著しく小さい。ブレークダウン・パルスと第1のフォローオン・パルスとの間、及びフォローオン・パルス間に、（シマー）電流が、好ましくは低い非ゼロの値に維持されて、全体の再結合を阻止する。

40

【0061】

上記で説明したようにTSIを励起するため用いられ得るイグナイタ電流の一例に関する波形を示す図5において、ブレークダウンは、時点 t_1 （最大電流が続くピーク電圧）で生じ、そして時点 t_1^* で完了する。時点 t_2 で始まり、一連の（1又はそれより多い）より低い振幅電流パルス52A-52E（即ち、この例では5個のパルスであるが、パルスの数は可変である。）が、イグナイタの電極間に与えられる。放電間隔は、ラズマが電極の端部に到達する時点 t_3 で終了する。ラズマは、アイソレータで時点 t_1 にお

50

いて開始する。それぞれのプラズマ 5 2 の持続時間 t_1, t_2, \dots, t_n 及びそれらのピーク電流の大きさ i_0 は、イグナイタ設計及びガス圧力 p に従って選定されるべきである。走行スパーク・イグナイタにおいて、パルス持続時間及び大きさは、好ましくは、電極の長さ及びそれらの電極間のギャップに従って選択される。実験は、所与のイグナイタ設計及びその動作の最大圧力に関するそれらのパラメータの値を設定する満足のゆく方法であり、今のところ、多分、最良の方法である。

【0062】

パルス間の時間はまた、イグナイタ設計及び圧力に依存する。ブレークダウン電流がゼロ近くのレベルに時点 t_1^* で到達するときのブレークダウン電流とフォローオン・パルス 5 2 Aとの間の時間 ($t_{b,1}$ と示す。) は、ブレークダウン電圧及び電極間のアイソレータの特質 (specifics) に依存する。シマー電流 i_s は、非ゼロであり、そしてそういうわけで、全体のプラズマ再結合を回避することを助ける。さもなければ、大きい電圧 (ブレークダウン電圧と比較して) が、次のパルスを開始するため必要とされるであろう。そこで、シマー電流 i_s は、各後続のパルスを促進し、そして追加のブレークダウン・パルスを必要としないで、その形成を可能にする。次の表は、シミュレートされた燃焼室において 400 psi (約 2758 kPa) 圧力で動作する TSI イグナイタの場合有効であることが分かったパラメータ値を提供する。

電極長さ : $l = 2.5 \text{ mm}$

ピーク・パルス電流 : $i_0 = 20 - 40 \text{ アンペア}$

k 番目のパルスの持続時間 : $t_k = 10 - 20 \text{ マイクロ秒}$

2つの連続したパルス k と $k + 1$ の間の時間 :

$t_{k, k+1} = 50 - 100 \text{ マイクロ秒}$

n (即ち、パルス数) : 3 から 4

シマー電流 : $i_s = 1 - 3 \text{ アンペア}$

ブレークダウンの終わりと第 1 のフォローオン・パルスとの間の時間 :

$t_{b,1} = 5 - 20 \text{ マイクロ秒}.$

【0063】

これらのパラメータは、スパーク・プラグの異なる設計又は圧力 p の値に対して著しく異なることができる。例えば、前の事例の中の TSI に類似し、そして圧力 $p = 900 \text{ psi}$ (約 6206 kPa) で動作する TSI に対して、有効であることが分かった適切なパラメータは、次の通りである。

【0064】

$i_0 = 60 - 80 \text{ アンペア}$

$t_k = 20 - 40 \text{ マイクロ秒}$

$t_{k, k+1} = 30 - 40 \text{ マイクロ秒}$

$n = 7$ から 10 パルス

$i_s = 3 - 5 \text{ アンペア}$ 、及び

$t_{b,1} = 3 - 10 \text{ マイクロ秒}.$

【0065】

ピーク・パルス値 i_0 と、パルス持続時間 t_k と、個々のパルス $t_{k, k+1}$ 間の時間が一定であるとして示されたが、それらは、一様又は一定である必要はない。例えば、それらは、実際には、時間の関数として増減することができるであろう。

【0066】

図 6 及び図 7 は、このパルス化された駆動スキームにより生成される動作を図示する。ブレークダウン・パルスが既に生じており、そして第 1 のフォローオン・パルスが図 4 に示されるように、アイソレータの表面から離れた位置 l_1 にあると仮定する。第 1 のパルスに続く時間間隔 $t_{1,2}$ 後に、次のパルス l_2 が生じ、その後に、プラズマは、アイソレータの表面から離れた新しい位置 l_2 にある。連続したパルスのそれぞれにより、プラズマ・カーネルは、右に移動し、次いで、最終的に (図 7) プラズマが n 個の電流

10

20

30

40

50

パルス後に電極の端部に到達し、そして燃焼室の中に放出されるまで、パルスの終わりで再結合することが可能にされる（2つのパルス後のプラズマ位置を示す図6参照）。フォローオン・パルスの数nは、燃焼室の中の圧力p、イグナイタのパラメータ（例えば、電極の長さ、電極間のギャップ、及び電極の形状）、及び電流放電パラメータ（例えば、パルスのピーク値、それらの持続時間、パルス間隔、及びパルス間の最小電流値）に依存するであろう。幾らかの実験が、適切な値を見つけるため必要とされるかも知れない。

【0067】

電流パルスが図5において正のパルスとして示されているが、負のパルスも、又は交番するパルス、又は複数の幾つかの他のパターンを用いることができる事が分かる筈である。ローレンツ力 F_L は、電流の2乗に比例し、従って、電流の極性とは関係しない。その上、図5において矩形として示された放電電流パルスは、三角形の形状又は正弦曲線の形状のようないずれの適切な波形を有することができるであろう。

【0068】

前述したように、増大した動作圧力により、アイソレータの表面に沿った電圧のブレークダウンがまた、増大する。ブレークダウン電圧の増大は、アイソレータ及び電極の寿命に負の影響を与える。そのような負の影響は、ブレークダウン電流を制限することにより回避又は大きく低減することができる。例えば、以下で説明するように、抵抗を高電圧回路の中に導入することは、ブレークダウン放電がフォローオン放電パルスの間隔の全体と比較して短い持続時間であるとき大きくエネルギーを浪費しないで、ブレークダウン電流を制限する。電流を制限することにより、動作モードは、従来のTSIシステムの動作モードから実質的に異なるようになる。米国特許No.6,321,733及びNo.6,474,321に示されるTSIシステムのような従来のTSIシステムにおいては、最大加速度及びプラズマ速度を生成するため、キャパシタからの高電流が高ブレークダウン電流の直後に続くことが望まれた。ゴールは、プラズマが単一の放電パルスで電極の端部に到達し、そして燃焼室の中に移動するようにすることである。対照的に、高圧環境では、プラズマの移動は、ブレークダウンに続いて、小さい。従って、ブレークダウン電流を制限することが許容できる。それは、大きいプラズマの移動を実際に生じさせるためよりむしろプラズマをアイソレータ表面の近くに生成するために、ブレークダウン電流を用いるだけであるからである。

【0069】

ブレークダウン電流パルスの終わりと第1のフォローオン電流パルスとの間の間隔 t_{b,t_1} は、放電電流のピーク値に依存する。抵抗 R_b を用いてこの電流制限効果を達成すると仮定すると、遅延時間はその抵抗の値に依存し、その抵抗の値は印加されるブレークダウン電圧に依存し、次いでその印加されるブレークダウン電圧は圧力pに依存する。従って、抵抗 R_b の値は、アイソレータ及び電極の消耗に対するストレスを最小にするよう選定される。

【0070】

図8は、図5に示されるようにブレークダウン・パルス及びフォローオン・パルスを生成する電子回路の一例の一部分概略的な回路図を示す。図8において、ブレークダウン・パルス及び1つのフォローオン・パルスのみを発生する回路が、示されている。希望されるそれぞれの追加のフォローオン・パルスに関しては、破線で囲まれた回路110を複製することができ、そして全てのそのような回路は、それらのブースト・トランスマニア102の2次巻線と直列に接続することができ、それによりそれぞれのそのような回路は、シーケンス化されたパルスの1つをイグナイタに順に供給する。（並列構成も可能であることに注目されたい。）

ブレークダウン放電を与える高電圧は、SCR104Aのスイッチングを起こすため104で印加された信号によりトリガされる高エネルギー点火コイル100により発生される。高エネルギー点火コイル100は、米国テキサス州エルパソ所在のオートトロニクス・コントロールズ・コーポレーション（Autotronics Controls Corporation）によるd/b/a MSD Ignitionにより市販されているコイル・モデル8261のようないし

10

20

30

40

50

かしこれに限定さされるものではないいすれの適切な点火コイルであってよい。通常産業界では「点火コイル」と呼ばれているが、構成要素 100 は、実際には、トランスフォーマである。前述のモデル 8261 点火コイルは、低いインダクタンスの 1 次コイルを有し、そして 1 次コイルが付勢されるときその 2 次コイルから 42 - 43 kV の出力を与える。トランスフォーマ 100 の 2 次コイルは、(ブースト・トランスフォーマ 102 の 2 次コイル 102B を介して) イグナイタ 101 の 1 又はそれより多い電極に直接接続され、そのイグナイタ 101 の別の電極は、接地される。

【0071】

ダイオードのストリング 106 (ダイオードのそれぞれは高抵抗が並列接続されている。) は、点火コイル 100 の出力電圧を单一の極性に制限し、リングングを防止する。 10

ブレークダウン・パルス後に、トリガ信号が、105 に印加されて、フォローオン・パルスを発生させる。ブースト・トランスフォーマ 102 は、キャパシタ 103 を放電することにより誘発される電流のパルスをイグナイタ 101 への高電圧ライン (HVL) に供給する。キャパシタ 103 は、例えば、約 500V のような比較的低い電圧に充電され、次いでブースト・トランスフォーマ 102 の 1 次コイル 102A を介し更に SCR 105 A を介して接地へ放電される。

【0072】

トリガ信号は、固定の又はプログラマブルなパラメータを備えるいすれの適切な回路により発生されることができる。

高電圧ラインに接続されたイグナイタ電極はまた、ダイオードのストリング 107、及び RC 回路網 111 を介して、示された 500V 電源のような低電圧電源に接続される。 20 RC 回路網 111 の抵抗値は、シマード電流 i_s を供給するよう設定される。

【0073】

図 8 の点火回路は、ブレークダウン電圧を発生し、初期電流、及び希望される電流のフォローオン・パルスを供給する單なる 1 つの方法を表すことが認められるであろう。匹敵するパルス化を生じるいすれの他の適切なメカニズムを採用し得る。例えば、正弦波電流パルスのような発振電流パルスを与えることができるであろう共振電流回路を、サブ回路のそれぞれが單一のパルスを発生する示された複数のサブ回路の代わりに、用いることができるであろう。更に、電圧及びダイオードの極性の適切な反転により、図 8 の回路は、正のパルスの代わりに負のパルスを発生するため用いることができるであろう。 30

【0074】

点火回路アーキテクチャの別の例 (単純化した形式で) が、図 9 に参照番号 130 で示されている。基本的な回路構成要素のみが示されており、実際の実現は、他の従来通りの構成要素を必要とすることが理解されるであろう。電源 132 は、電圧 (単に、それを区別する目的のため「高」電圧と名付ける。) を供給する。当該電圧は、それがトランスフォーマ 134 により昇圧されたとき、プラズマをイグナイタ (図示せず) で生成するのに十分なブレークダウン電圧を発生することができる程十分に高い。電源 132 は、ダイオード 136 を介して 1 次巻線 134A の第 1 の端部に接続されて、1 次巻線 134A の他方の端部と接地との間に接続されたキャパシタ 138 を充電する。パルス発生器 142 は、パルスのトレイン又はシーケンスを供給する。第 1 のパルス上で、パルス発生器 142 からの出力信号は、電子的に制御されるスイッチ 144 を閉成する。この動作は、ダイオード 136 のアノードを接地し、電源 132 との接続を実効的に切り、それによりそれが短絡されないで、そしてキャパシタ 138 が 1 次巻線 134A を介して放電される。トランスフォーマ 134 は、可飽和コアの昇圧トランスフォーマである。HVL 電源 132 は、典型的には、数百ボルトの出力電圧を有する。スイッチ 144 の閉成は、大きい電圧スイッチングをトランスフォーマ 134 の 1 次巻線 134A の両端に発生する。典型的には、約 1 : 35 - 1 : 40 の巻線比が、トランスフォーマ 134 に用いられ、そしてこれは、1 次巻線 134A 上の 5 ~ 6 百ボルトを 2 次巻線 134B の両端の数万ボルトの範囲まで昇圧するであろう。この後者の電圧は、(2 次巻線 134B の一方の端部に接続された (図示せず)) イグナイタに印加されたときブレークダウンを起こすのに十分である。 40 50

【0075】

前述のパルスはまた、トランスフォーマ134のコアを飽和させることができることを好ましい。

コアの飽和に起因して、その飽和が全く衰退する前に、次のパルスがパルス発生器142により供給される場合、そのようなパルスは、ブレークダウン・レベル出力電圧を出力ライン152上に発生しないであろう。

【0076】

2次巻線134Bの他方の端(154で示す。)、及びキャパシタ156の一端は、ダイオード158を介して接地される。キャパシタ156は、「低電圧」(LV)電源162により保護ダイオード164を介して充電される。パルス発生器142からのパルスが電子スイッチ166により受け取られたとき、ノード168は、接地され、そしてキャパシタ156は、直列接続されたダイオード172、抵抗174及びスイッチ168を介して接地される。

10

【0077】

「低電圧」(LV)電源162は、典型的には、0-1000ボルトの範囲の電圧を供給する。キャパシタ156は、典型的な点火システムでは大きいキャパシタンスであり、そして抵抗174は、放電電流(これはトランスフォーマ134の2次巻線134Bを介して引かれる。)を約50アンペア(より低い電流がフォローオン・パルスに十分である場合にはそれより小さく)までに制限する大きさにされ得る。

【0078】

ダイオード182及び184は、単に、それらのそれぞれのスイッチを、それらを破壊することができるであろう逆極性スパイクから保護する。

20

電源132及び162は、別々に示されているが、単一の電源を一部の応用では用いてもよい。また、用語「低電圧」及び「高電圧」は、電源132の出力が電源162の出力より高い電圧であることが最も典型的であるにも拘わらず、そうであることを要求することを意図しているものではない。

【0079】

ダイオード164が、その関連の電源が関連のスイッチが閉成されるとき短絡された出力を有することから保護するというダイオード136と同じ理由のため含められている。

また、電源132、162の正確な構成に応じて、適用可能な場合、これらの電源の一方又は両方と対応するスイッチ144又は166との間に直列接続状態で抵抗を配置して、電源の出力電流及び対応のキャパシタの充電時間を制限することが望ましい。

30

【0080】

スイッチ144、146は、SCR、IGBT(特にスイッチ144にとって)、MCT、及び今又は将来存在し得る他の高電圧スイッチング素子のような様々な半導体を用いて実現され得る。

【0081】

小さいキャパシタ159は、ダイオード158をバイパスし、迅速な電圧変化のため接地への低インピーダンス経路を与えて、ダイオード158を大きい逆スパイクに対して保護する。

【0082】

40

他の変形が可能である。例えば、スイッチ144及び146を作動させる単一のパルス発生器の代わりに、各スイッチが異なるパルス発生器により作動されてもよく、又はスイッチを駆動する異なる出力又は異なった状態の出力信号(これは多分コモン信号から導出される。)を有する1つのパルス発生器を用いてもよい。又は、図10においてスイッチング素子(例えば、MCT)186で示されるように1つのスイッチを2つのスイッチの代わりに用いてもよい。(図10において、抵抗Rは、必要でないかも知れないが、電源の詳細に応じて特に示されている。)異なるパルス発生器がそれぞれのスイッチを駆動する場合、それらは、独立に制御ことができ、そしてこれは、様々な動作モードに適応することを可能にするであろう。

【0083】

50

図9において、抵抗174は、それがオプションであることを示すため破線のボックスの中に示されている。電源162がフォローオン電流パルスの所望の振幅を制御するためキャパシタ156と関係して設定されることに拘わらず、キャパシタ156に蓄積されたエネルギーの全てがアークへ移行することができるわけではない。フォローオン・パルスの中の電流を各パルスの間隔にわたり維持するため、キャパシタ156は、制御されたレート（割合）で放電されねばならない。これを行う1つの方法は、抵抗174のような抵抗を介してキャパシタ156を放電する方法である。不都合にも、抵抗174の使用は、大量の蓄積されたエネルギーを熱として放散することをもたらす。実際、より多くのエネルギーは、プラズマの移動で費やされるより抵抗174で熱として失われる。従って、この回路は、エネルギーの不効率な使用を来している。

10

【0084】

スイッチ素子166を制御された電流排出経路にすることにより回路の効率を改善し且つ熱放散を低減することが可能である。従って、キャパシタ156の電流排出を制限するため抵抗174を用いる代わりに、スイッチ・トランジスタ（又は類似の構成要素）がその要求を引き受け、制御された放電を与える。より詳細には、図11に示されるように、能動型スイッチング素子（その図では、MOSFET166として示される。）が、ノード168から抵抗192を介して接地に接続される。その抵抗192にかかる電圧は、トランジスタ166を通る実際の電流を測定するための代理として感知される。パルス発生器142とトランジスタ166のゲートとの間に介挿されたゲート駆動ロジック194は、抵抗192の電圧に応答して、トランジスタ166を、可変のデューティ・サイクルと、抵抗174の使用から生じる電力放散の低減とを有するスイッチング・レギュレータとして動作させる。ゲート駆動ロジック194は、様々な方法で実現され、固定のロジックを含んでもよく、又はそれは、おそらく当該ロジックを動作させるためのマイクロコントローラを含むプログラマブル・ロジックを含んでもよい。マイクロコントローラを用いる利点は、上記ロジックが本明細書で説明した様々なモード、例えば、シマーレ電流の有り又は無しで実行するために回路を動作させるよう構成されることがある点にある。

20

【0085】

正極性のパルスの発生が点火回路の説明された例から結果として生じるにも拘わらず、エレクトロニクスの当業者は、同じことを有することが希望されるならば、それらから、負極性のパルス、又は極性が変わるパルスすらを生成するであろう点火回路を容易に導出することができるであろう。また、一部又は全てのトリガ・パルスが出力パルスと異なる極性であることが望ましい場合がある。

30

【0086】

ゲート駆動ロジックの詳細な設計及びブレークダウン電圧、フォローオン・パルス、イグナイタ等に関するパラメータは、点火システムが適合することを要求される特定のエンジン仕様に依存するだろう。それらの要件、及びコスト、部品の可用性等々のような考慮は、同様に構成要素の選択に影響を及ぼすであろう。これらのパラメータの一部の決定は、そのために点火システム又は回路が意図されるエンジンのモデルについての或る程度の実験法を要求し得る。

40

【0087】

問題及びそれらの解法が、唯1つの形式のTSIを用いて説明されたが、これら問題及びそれらの解法の両方が、並列及び同軸の両方の電極を用いて、他のTSI設計に等しく適用される。

【0088】

或る一定の方法及び装置が高い圧力及び非常に高い圧力で動作する内燃機関との使用に関して説明されたが、この技術はまた、より低い従来の圧力で、又は従来のスパイク・ブレーキと共にすら動作する内燃機関の走行スパーク・イグナイタと使用することができる事が理解されるであろう。しかしながら、利点は、多分走行スパーク・イグナイタの場合最大であろう。

50

【 0 0 8 9 】

また、動作理論が提示されたが、この理論を非常に多く制限するかも知れない多数の単純化した仮定が存在する。それにもかかわらず、特許請求の範囲に記載された発明は、シミュレートされた高圧エンジン環境で実用に役立つ点火システムをもたらし、そして解析におけるいずれの単純化及びエラーが、本発明の価値を減じないことが理解されるであろう。

【 0 0 9 0 】

この発明の少なくとも1つの実施形態の幾つかの局面が説明されたが、様々な代替、変更及び改善が、当業者により容易に行われることが認められるべきである。そのような代替、変更及び改善は、この開示の一部であることを意図しており、そして本発明の趣旨及び範囲内にあることを意図するものである。従って、前述の説明及び図面は、単なる例示である。

10

【図面の簡単な説明】**【 0 0 9 1 】**

【図1】図1は、走行スパーク・イグナイタの原理を示す従来の走行スパーク・イグナイタの断面の概略図である。

【図2】図2は、図1のTSI用の典型的な従来の点火回路の一部概略的で一部ブロック形式の図である。

【図3】図3は、図2に示されるタイプの点火回路を用いた、図1に示されるイグナイタの電極間の電圧を一般化して表した図である。

20

【図4】図4は、TSIが高圧環境で動作している状態におけるTSIの中での電流パルスによるプラズマ雲の生成、及びプラズマの続いての崩壊を示す図である。

【図5】図5は、本発明の教示に従ってTSIに印加される駆動電流の一例の波形である。

【図6】図6は、図5の波形で例示された原理に従って動作されるTSIの中の図4のプラズマ雲の動きを示す図である。

【図7】図7は、図5の波形で例示された原理に従って動作されるTSIの中の図4のプラズマ雲の動きを示す図である。

【図8】図8は、例えば、図5の波形又は駆動信号を含む、本明細書で教示されるTSI用電流駆動波形を発生するために使用可能な点火駆動回路の一例の単純化した概略回路図である。

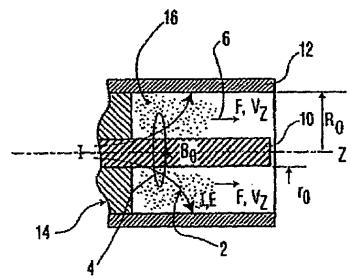
30

【図9】図9は、本明細書で教示されるTSIへの点火駆動を発生するための点火回路の別の実施形態の単純化した一部ブロック形式、一部概略回路形式の図である。

【図10】図10は、本明細書で教示されTSIへの点火駆動を発生するための点火回路の更に別の実施形態の単純化した一部ブロック形式一部概略回路形式の図である。

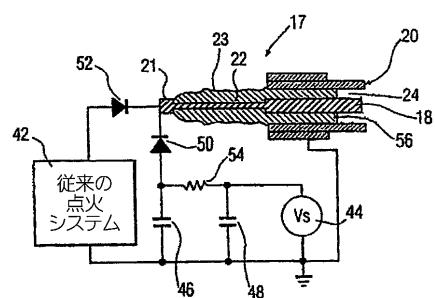
【図11】図11は、本明細書で教示されるTSIへの点火駆動を発生するための点火回路のまた別の実施形態の単純化した一部ブロック形式一部概略回路形式の図である。

【図1】



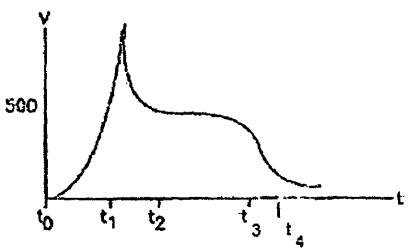
(従来技術)

【図2】



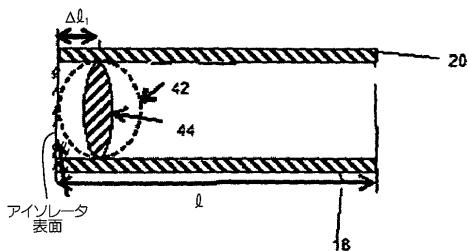
(従来技術)

【図3】

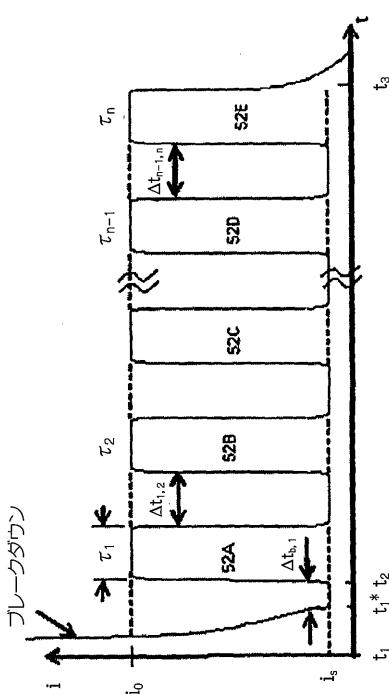


(従来技術)

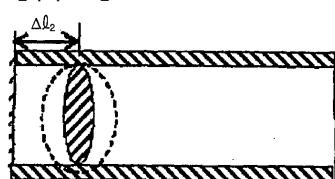
【図4】



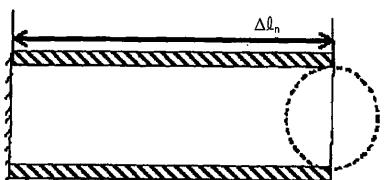
【図5】



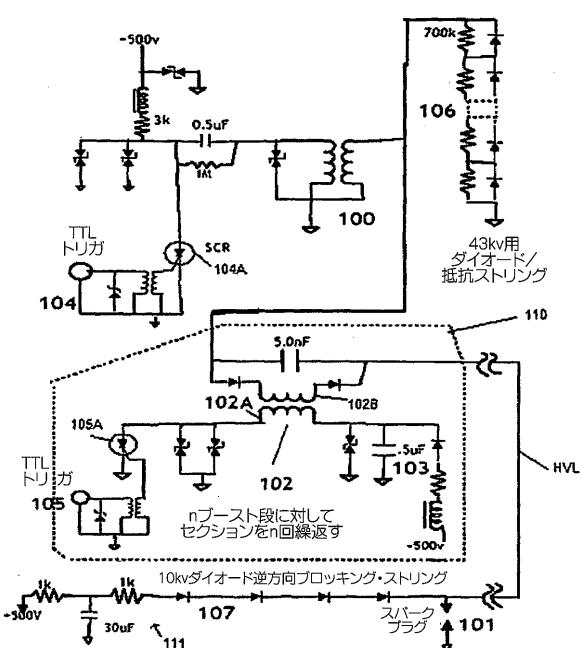
【図6】



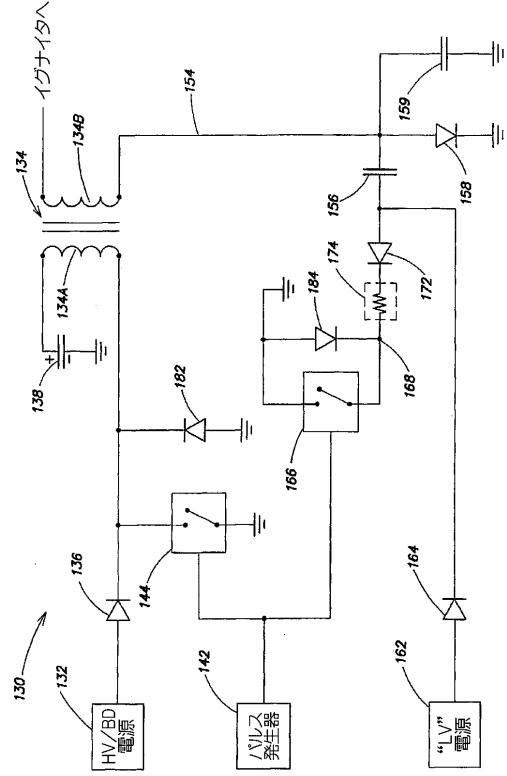
【図7】



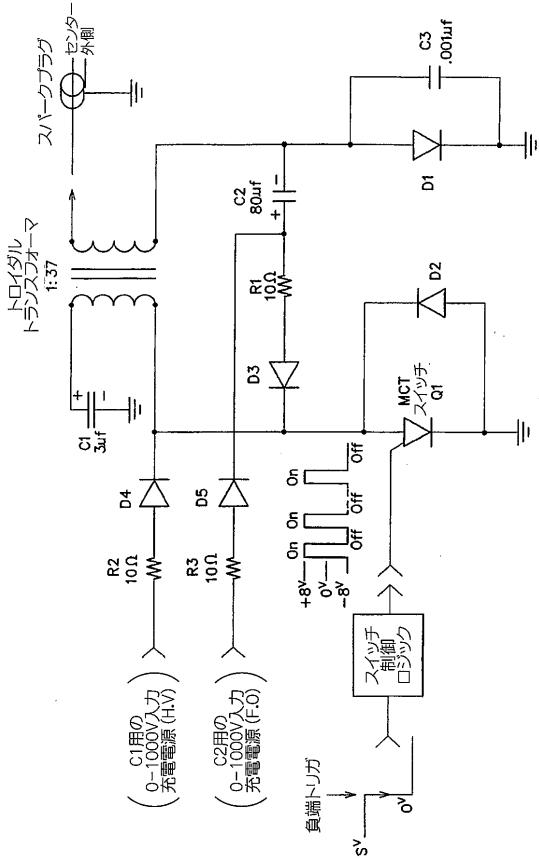
【図8】



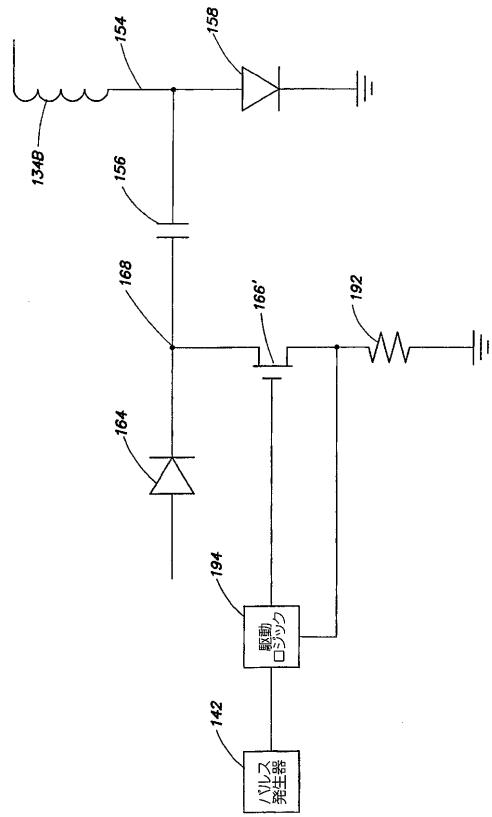
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 サッケワー, アーティ

アメリカ合衆国ニュージャージー州08823, フランクリン・パーク, デレオン・サークル 6
7

(72)発明者 サッケワー, スズイモン

アメリカ合衆国ニュージャージー州08540, プリンストン, マックリーン・サークル 10

(72)発明者 セルモン, フレデリック・エイチ, ザ・サード

アメリカ合衆国ニュージャージー州08619, ハミルトン, カーネギー・アベニュー 5

審査官 出口 昌哉

(56)参考文献 特表平05-508731 (JP, A)

特開昭57-140567 (JP, A)

特表2004-502084 (JP, A)

特開2007-287666 (JP, A)

特表平02-502661 (JP, A)

特表2000-511263 (JP, A)

米国特許第6321733 (US, B1)

米国特許第6474321 (US, B1)

米国特許第6131542 (US, A)

米国特許第6662793 (US, B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F02P 3/01

F02P 23/04