(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 116438623 A
(43)申请公布日 2023.07.14

(21)申请号 202180073013.X

(22)申请日 2021.09.06

(30)优先权数据
102020124032.5 2020.09.15 DE

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2023.04.25

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2021/074470 2021.09.06

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2022/058193 DE 2022.03.24

(71)申请人 塞梅孔公司
地址 德国维塞伦

(72)发明人 沃尔特·马伊 韦尔纳·克尔克斯特凡·博尔茨

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
专利代理师 支娜 丁永凡

(51)Int.Cl.
*H01J 37/32*(2006.01)

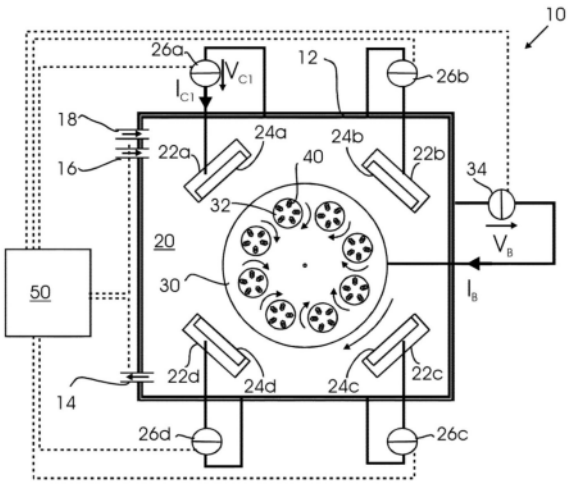
权利要求书3页 说明书15页 附图10页

(54)发明名称

覆层设备和具有划分的脉冲的覆层方法

(57)摘要

本发明涉及用于对体部(40)覆层的覆层方法和覆层设备。具有靶(24a、24b、24c、24d)的磁控管阴极(22a、22b、22c、22d)设置在真空腔(12)中。向磁控管阴极(22a、22b、22c、22d)输送电功率，使得生成等离子体并且溅射靶(24a、24b、24c、24d)，以便在体部(40)上沉积覆层。在此，将电功率根据HIPIMS法作为阴极脉冲(60)在周期持续时间(T)之内周期性地输送，其中每个阴极脉冲(60)包括至少两个阴极子脉冲(62)和位于其之间的阴极子脉冲中断(64)。为了能够利用斩波HIPIMS法以特别有益的方式沉积具有有益的特性的覆层(44)，在要覆层的基底(40)上施加具有偏置电压脉冲(66)的偏置电压，其中每个偏置电压脉冲(66)包括至少两个偏置子脉冲(68)和位于其之间的偏置子脉冲中断(70)。




CN 116438623 A

1.一种用于对体部(40)覆层的覆层方法,其中

-将所述体部(40)设置在真空腔(12)中,其中至少一个具有靶(24a、24b、24c、24d)的磁控管阴极(22a、22b、22c、22d)设置在所述真空腔中,

-向所述磁控管阴极(22a、22b、22c、22d)输送电功率,使得生成等离子体并且溅射所述靶(24a、24b、24c、24d),以便在所述体部(40)上沉积覆层,

-其中将所述电功率根据HIPIMS法作为阴极脉冲(60)周期性地在周期持续时间(T)之内输送,其中每个阴极脉冲(60)包括至少两个阴极子脉冲(62)和位于其之间的阴极子脉冲中断(64),

-其中将偏置电压脉冲(66)周期性地在周期持续时间(T)之内施加到所述体部上,其中每个偏置电压脉冲(66)包括至少两个偏置子脉冲(68)和位于其之间的偏置子脉冲中断(70)。

2.根据权利要求1所述的覆层方法,其中

-所述偏置子脉冲(68)中的至少一个偏置子脉冲在所述阴极子脉冲(62)中的一个阴极子脉冲开始之后以延迟时间($T_D$)开始。

3.根据权利要求1或2所述的覆层方法,其中

-所述偏置子脉冲(68)的数量等于或小于所述阴极子脉冲(62)的数量。

4.根据上述权利要求中任一项所述的覆层方法,其中

-通过所述阴极子脉冲(62)在所述等离子体中形成金属离子,

-其中一种类型的金属离子的量具有从阴极脉冲(60)开始起的时间变化曲线,所述时间变化曲线具有至少一个最大值,

-并且其中在所述最大值期间施加至少一个偏置子脉冲(68)。

5.根据上述权利要求中任一项所述的覆层方法,其中

-所述阴极脉冲(60)包括至少一个第一阴极子脉冲和第二阴极子脉冲(62),其中所述第一阴极子脉冲和所述第二阴极子脉冲(62)在其持续时间方面不同,并且其中所述第一阴极子脉冲和所述第二阴极子脉冲(62)分别持续至少8μs长。

6.根据权利要求5所述的覆层方法,其中

-所述第一阴极子脉冲(62)是所述阴极脉冲(60)在时间上的第一阴极子脉冲(62),

-并且其中所述第一阴极子脉冲(62)比所述第二阴极子脉冲(62)更短。

7.根据权利要求6所述的覆层方法,其中

-所述第二阴极子脉冲(62)持续至少15μs,优选20μs,特别优选25μs长。

8.根据权利要求6或7所述的覆层方法,其中

-所述第一阴极子脉冲(62)持续最大25μs,优选最大20μs,特别优选最大15μs长。

9.根据权利要求5至8中任一项所述的覆层方法,其中

-所述阴极脉冲(60)包括第三阴极子脉冲(62),所述第三阴极子脉冲在时间上跟随所述第一阴极子脉冲和所述第二阴极子脉冲,

-其中所述第三阴极子脉冲(62)持续至少与所述第一阴极子脉冲同样长并且至少与所述第二阴极子脉冲(62)同样长。

10.根据上述权利要求中任一项所述的覆层方法,其中

-所述阴极脉冲(60)在周期持续时间(T)之内是周期性的,

-其中所述周期持续时间(T)最大为1.5ms。

11.根据权利要求10所述的覆层方法,其中

-所述阴极脉冲(60)持续的时间小于周期持续时间(T)的一半长,优选最长持续的时间为周期持续时间(T)的三分之一长。

12.根据上述权利要求中任一项所述的覆层方法,其中

-所述阴极功率供应装置(26a、26b、26c、26d)为此包括充电的电容(48)和充电设备(46),使得从充电的电容(48)中提供输送给所述磁控管阴极(22a、22b、22c、22d)的电功率。

13.根据权利要求12所述的覆层方法,其中

-功率恒定地调节所述充电设备(46)。

14.根据上述权利要求中任一项所述的覆层方法,其中

-所述阴极脉冲(60)是具有600V至1200V的峰值的电压脉冲。

15.根据上述权利要求中任一项所述的覆层方法,其中

-所述阴极子脉冲(62)中的至少一个阴极子脉冲至少基本上是矩形脉冲或具有至少一个梯形的变化曲线。

16.根据上述权利要求中任一项所述的覆层方法,其中

-所述阴极子脉冲(62)中的至少一个阴极子脉冲的峰值功率至少达到50kW。

17.根据上述权利要求中任一项所述的覆层方法,其中

-所述阴极脉冲(60)包括至少一个第一阴极子脉冲和第二阴极子脉冲(62),其中所述第二阴极子脉冲(62)在时间上跟随所述第一阴极子脉冲(62),

-并且其中在所述第二子脉冲(62)期间输送给所述磁控管阴极(22a、22b、22c、22d)的电功率的峰值比在所述第一阴极子脉冲(62)期间高至少30%。

18.根据上述权利要求中任一项所述的覆层方法,其中

所述靶(24a、24b、24c、24d)包括元素周期表的第4-6族中的材料,硼、碳、硅、钇和/或铝。

19.一种用于对体部(40)覆层的覆层设备,具有

-真空腔(12),所述真空腔具有用于所述体部(40)的容纳部(30、32)和至少一个具有靶(24a、24b、24c、24d)的磁控管阴极(22a、22b、22c、22d),

-阴极功率供应装置(26a、26b、26c、26d),用于将电功率根据HIPIMS法作为阴极脉冲(60)周期性地在周期持续时间(T)之内输送至所述磁控管阴极(22a、22b、22c、22d),以生成等离子体并且溅射所述靶(24a、24b、24c、24d),

-控制设备(50),所述控制设备构成为用于,操控所述阴极功率供应装置(26a、26b、26c、26d)以将电功率输送至所述磁控管阴极(22a、22b、22c、22d),使得每个阴极脉冲(60)包括至少两个阴极子脉冲(62)和位于其之间的阴极子脉冲中断(64),

-和偏置功率供应装置(34),用于以偏置电压脉冲中断(68)的形式将电功率输送至所述体部(40),

-其中所述控制设备(50)还构成为用于,操控所述偏置功率供应装置(34),使得将偏置电压脉冲(66)周期性地在所述周期持续时间(T)之内施加到所述体部(40)上,其中每个偏置电压脉冲(66)包括至少两个偏置子脉冲(68)和位于其之间的偏置子脉冲中断(70)。

20.根据权利要求19所述的覆层设备,其中

-所述阴极脉冲(60)包括第一阴极子脉冲和第二阴极子脉冲(62),其中所述第一阴极子脉冲和所述第二阴极子脉冲(62)在其持续时间方面不同,并且其中所述第一阴极子脉冲和所述第二阴极子脉冲(62)分别持续至少8μs长。

21.根据权利要求19或20所述的覆层设备,其中

-所述阴极脉冲(60)在周期持续时间(T)之内是周期性的,

-其中所述周期持续时间(T)最大为1.5ms。

22.根据权利要求19至21中任一项所述的覆层设备,其中

-所述阴极功率供应装置(26a、26b、26c、26d)为此包括充电的电容(48)和充电设备(46),使得从充电的电容(48)提供输送给所述磁控管阴极(22a、22b、22c、22d)的电功率。

# 覆层设备和具有划分的脉冲的覆层方法

## 技术领域

[0001] 本发明涉及一种覆层方法和一种覆层设备。尤其,本发明涉及用于借助于阴极溅射对体部覆层的方法和设备,其中根据HIPIMS法向至少一个阴极输送电功率。

## 背景技术

[0002] 已知的是,体部或体部的一部分设有表面覆层以改善机械的或化学的特性。尤其地,对于经受磨损的工具和构件已知的是,功能面设有覆层。

[0003] 作为覆层尤其已知硬质材料层。为了形成薄的覆层,除了CVD法以外尤其已知PVD覆层法,尤其阴极溅射法。

[0004] 在阴极溅射的领域中,特别感兴趣的是HIPIMS法(High Power Impulse Magnetron Sputtering,高功率脉冲磁控溅射)。与例如借助于直流电压以保持不变的电功率运行阴极的常规的阴极溅射不同,在HIPIMS中,将高电压的短的电脉冲施加到阴极上并且在此实现非常高的峰值功率。结果是,实现等离子体的相对于常规的阴极溅射明显提高的离子化,从中得出借此产生的覆层的有利的特性。

[0005] 在HIPIMS法的当前的改进方案中提出,划分输送给阴极的电脉冲,即代替连续的阴极脉冲施加较短脉冲的序列,所述较短脉冲在此称作为阴极子脉冲并且在其序列中形成划分的阴极脉冲。所述方法称作为“斩波HIPIMS(chopped HIPIMS)”或也称作为DOMS(深振荡磁控溅射,(deep oscillation magnetron sputtering))。

[0006] 因此,Barker等人的“Modified high power impulse magnetron sputtering process for increased deposition rate of titanium”,Journal of Vacuum Science& Technology A:Vacuum,Surfaces and Films 31,060604(2013)公开了借助于改进的HIPIMS法沉积钛层,其中HIPIMS脉冲划分为脉冲序列。持续时间为100μs的脉冲序列在200Hz的频率和0.75kW的平均功率的情况下以多样化的序列组施加,所述序列组具有4个或2个不同持续时间以及不同关断持续时间的微脉冲。划分的HIPIMS脉冲对沉积率的高于传统的HIPIMS法的显著影响被报告。

[0007] Barker等人的“An investigation of c-HiPIMPS discharges during titanium deposition”,Surface&Coatings Technology 258(2014)631-638报告了利用具有4个或8个微脉冲的脉冲序列借助于斩波HIPIMS沉积的钛层。报告了在微脉冲之间的延迟较长的情况下明显提高的沉积率,这由等离子体的离子化来解释。

[0008] EP 2 587 518 A1公开了一种用于在由金属或陶瓷材料制成的基底(工件)上制造至少基本上不含氢的ta-C层的设备。真空腔与真空泵和与惰性气体源连接。为基底(工件)设有支撑设备。具有形成磁控管的相关联的磁体装置的至少一个石墨阴极用作为碳材料源。偏置功率供应装置用于将负偏压施加到基底上。阴极功率供应装置与石墨阴极和所属的阳极连接,并且设计用于在(优选可编程的)时间区间中传输高功率脉冲序列。每个高功率脉冲序列包括一系列高频直流脉冲,所述高频直流脉冲调整为必要时在构建阶段之后输送给至少一个石墨阴极。

[0009] EP 3 457 428 A1公开了用于在半导体处理系统中处理基底的方法和设备。该方法以在脉冲高频偏压发生器和HIPIM发生器之间耦联的脉冲同步控制装置的初始化开始。第一时间信号由脉冲同步控制装置发送到脉冲高频偏压发生器和HIPIM发生器。基于第一时间信号激励设置在基底承载件中的溅射靶和高频电极。基于时间控制信号的结束，切断靶和电极。第二时间信号由脉冲同步控制装置发送到脉冲高频偏压发生器，并且激励和切断电极，而不会作为对第二时间控制信号的反应而激励靶。

[0010] US 2008/0135400 A1公开了一种用于溅射靶以在基底上产生覆层的设备。所述设备包括具有阴极和阳极的磁控管。电流供应装置与磁控管连接，并且至少一个电容器与电流供应装置连接。所述设备还包括符合运行地与电容器连接的电感器。第一开关将电流供应装置有效地与磁控管连接，以便根据第一脉冲对磁控管充电。接通第二开关，以便根据第二脉冲对磁控管放电。

## 发明内容

[0011] 可以视为目的的是，提出可以利用斩波HIPIMS法以特别有益的方式沉积具有有利的特性的覆层的方法和设备。

[0012] 为了实现所述目的，提出根据权利要求1的覆层方法和根据权利要求22的覆层设备，其中在要覆层的基底上施加具有特殊的脉冲形状的偏置电压。

[0013] 从属权利要求分别涉及本发明的有利的实施方式。

[0014] 根据本发明，提出用于对体部覆层的覆层方法或覆层设备，所述体部也称作为基底。基底尤其可以是工具。通常，对多个单个的体部同时覆层。

[0015] 根据本发明提出具有至少一个磁控管阴极的真空腔，所述磁控管阴极具有靶，在所述真空腔中设置体部(基底)。通过将电功率输送至磁控管阴极生成等离子体，靶溅射并且覆层沉积在体部上，其方式为：等离子体的组成部分沉淀在基底表面上。在此，根据HIPIMS法以阴极脉冲的形式脉冲式地、以周期持续时间T周期性地输送电功率。在此，根据方法的斩波HIPIMS变型形式，每个阴极脉冲划分为至少两个阴极子脉冲，在所述阴极子脉冲之间存在阴极子脉冲中断，在所述阴极子脉冲中断中不施加电功率或施加相对于阴极子脉冲明显减少的电功率。阴极脉冲因此形成由在时间上间隔开的阴极子脉冲构成的序列。

[0016] 根据本发明的覆层设备具有：真空腔，所述真空腔具有用于体部的容纳部并且具有带有靶的至少一个磁控管阴极；以及阴极电功率供应装置和控制设备。阴极功率供应装置构成为用于根据HIPIMS法将电功率输送至磁控管阴极，使得阴极脉冲周期性地在周期持续时间T之内输送，以生成等离子体和溅射靶。控制设备构成为用于操控阴极电功率供应装置，使得输送给磁控管阴极的电功率的单个的、一些或所有参数可以被控制，尤其是功率、频率、脉冲形状和/或脉冲次序等。控制设备构成为用于根据这种序列来操控阴极电功率供应装置，使得每个输送给阴极的阴极脉冲包括至少两个阴极子脉冲和位于其之间的阴极子脉冲中断。控制设备尤其可以是可编程的控制装置，借助所述控制装置优选地除了阴极功率供应装置以外也根据覆层程序来时间相关地控制覆层设备的其他功能，尤其偏置功率供应和/或工艺和/或反应气体的输送。

[0017] 根据斩波HIPIMS法提出的阴极子脉冲的序列具有以下优点，即减少构成电弧放电的风险或通过随后的子脉冲中断终止构成的电弧放电。此外，通过阴极子脉冲的序列与在

连续的HIPIMS阴极脉冲中相比可以实现等离子体的更高的离子化。

[0018] 在此，阴极脉冲作为电压脉冲施加，使得在下文中对持续时间、脉冲形状、序列等的描绘和说明始终涉及对磁控管阴极上的电压的观察。在此产生的电流从而电功率在此与等离子体中的比例、尤其离子化相关。

[0019] 阴极脉冲可以包括阴极子脉冲的多样化的序列。优选地，在此为电压脉冲。证实为有利的是各阴极脉冲例如2个至10个阴极子脉冲的序列，优选3个至8个阴极子脉冲，更优选4个至6个阴极子脉冲。阴极子脉冲的持续时间一般而言可以例如处于4μs至80μs，优选处于5μs至50μs或6μs至35μs，特别优选地处于8μs至25μs。在此，如下文所阐述那样，阴极子脉冲可以始终具有相同的持续时间，其中然而如下序列是优选的，在所述序列之内阴极子脉冲具有不同的持续时间。

[0020] 在阴极子脉冲的相应的序列之内，在阴极子脉冲之间分别存在阴极子脉冲中断。(多个)阴极子脉冲中断的持续时间优选平均比阴极子脉冲的持续时间短。例如，(多个)阴极子脉冲中断的持续时间可以处于2μs至30μs，优选处于5μs至25μs，特别优选处于8μs至20μs。在此，在序列之内的阴极子脉冲中断的持续时间可以是相同的或不同的。

[0021] 根据本发明，在体部上施加呈偏置电压脉冲的形式的偏置电压，所述偏置电压在周期持续时间之内是周期性的。每个偏置电压脉冲在此被划分，即包括至少两个偏置子脉冲和位于其之间的偏置子脉冲中断。

[0022] 施加在基底上的偏置电压是负的，使得等离子体的正离子朝基底表面的方向加速。与直流电压的已知的应用不同，根据本发明脉冲式地施加偏置电压，更确切地说同样具有单个的偏置子脉冲的序列，在其之间分别具有(多个)偏置子脉冲中断。偏置电压的脉冲序列的频率或周期持续时间在此是与阴极处的电功率或电压相同的。

[0023] 通过这样预设偏置电压的与在阴极上的电压的时间变化曲线同步的时间变化曲线，尤其得出关于选择等离子体的形成覆层的组成部分的控制可能性。如已证实的是，等离子体的离子的组成在阴极在斩波HIPIMS法中、即借助在时间上间隔开的阴极子脉冲运行时是时间相关的，即在不同时间点，在等离子体中存在不同的离子。因此，通过使偏置电压的时间变化曲线协调于此，得出有针对性地选择集成到层中的离子的类型的可能性。

[0024] 这尤其涉及通过适当的时间协调可能的对在构建覆层时的金属离子和气体离子的相应的量的影响。因此，可以观察，包含在等离子体中的气体离子的，尤其工艺气体、例如氩气的离子的量从阴极子脉冲开始起具有与金属离子的量偏差的时间变化曲线。通过相对于阴极子脉冲适当地选择偏置子脉冲的持续时间和开始时间点，可以有针对性地设定覆层中的气体离子和金属离子的相应的量。在此，尤其作为工艺气体优选使用的氩气的量对覆层的特性具有决定性的影响：因此已证实的是，在氩气份额相对高时可实现具有非常高的硬度和高的固有应力的覆层，即硬的且脆的层，而相比之下在没有氩气或较少份额氩气的情况下的层是更具延展性的。

[0025] “斩波偏置”，即划分的偏置电压的根据本发明的使用也支持斩波HIPIMS法的优点，即抑制电弧放电(Arcs.)。通过将阴极脉冲划分为至少两个阴极子脉冲连同在其之间的阴极子脉冲中断，阻碍电弧放电的构成——由于在阴极子脉冲中断中切断功率，可能产生的电弧完全无法构成进而几乎不引起在设施(例如靶)上和尤其在体部的覆层上的损坏。在此假设，当偏置电压脉冲也被划分并且在各周期具有至少一个偏置子脉冲中断时，附加地

支持所述效应。在偏置子脉冲中断中，电功率直接在体部处减小或完全切断，使得可能开始的电弧在其构成中被阻碍和熄灭。这不仅当偏置子脉冲中断与阴极子脉冲中断重叠或完全全等时、而且也在时间延迟的情况下适用。

[0026] 本发明的有利的改进方案尤其涉及偏置电压脉冲和阴极脉冲或偏置子脉冲和阴极子脉冲的时间协调。

[0027] 优选地，偏置子脉冲中的至少一个在阴极子脉冲中的一个开始之后以延迟时间开始，更优选地，多个或所有偏置子脉冲分别在相关联的阴极子脉冲开始之后以延迟时间开始。例如，多个或所有偏置子脉冲相对于分别相关联的阴极子脉冲的延迟时间可以是相同的。

[0028] 偏置子脉冲和阴极子脉冲的相应的序列可以在时间上相互协调，然而序列不必是全等的并且例如也可以具有相应的子脉冲的不同的数量和持续时间。因此，在两个偏置子脉冲之间的时间间隔例如可以与两个阴极子脉冲的时间间隔一致，至少基本上一致(即优选小于+/-10％的偏差)。时间间隔在此优选可在偏置子脉冲和阴极子脉冲的相应的开始之间测量。在比较中观察的偏置子脉冲和阴极子脉冲可以在时间上直接彼此跟随或可以在其之间设置有另外的偏置子脉冲或阴极子脉冲。优选地，一个、多个或所有偏置子脉冲中断可以至少具有与分别相关联的阴极脉冲中断基本上同样长的持续时间。

[0029] 偏置子脉冲的数量可以等于阴极子脉冲的数量或与其不同。在一些优选的实施方案中，偏置子脉冲的数量可以小于阴极子脉冲的数量，即并非对于每个阴极子脉冲都存在相关联的偏置子脉冲。例如，可以有针对性地仅与更高功率的阴极子脉冲相关联地设有偏置子脉冲，而对于一个或多个较低功率的阴极子脉冲不设有相关联的偏置子脉冲。

[0030] 偏置子脉冲和/或偏置子脉冲中断的持续时间优选地可以处于与阴极脉冲或阴极子脉冲中断的持续时间相同的区间中。在阴极子脉冲的开始和相关联的偏置子脉冲的开始之间的延迟时间例如可以处于5μs至200μs，优选处于10μs至150μs，特别优选处于10μs至60μs。

[0031] 可能的是，偏置电压脉冲至少部分地与阴极脉冲交叉，即每个偏置电压脉冲的至少一部分可以与阴极脉冲之一的至少一部分同时施加。然而，这并非在所有情况下是必需的，在一些应用中也证实为有利的是，偏置电压脉冲相对于阴极脉冲延迟，使得实际上不再发生时间交叉。

[0032] 阴极子脉冲和偏置子脉冲的序列可以彼此匹配，尤其每个阴极子脉冲与一个偏置子脉冲相关联，所述偏置子脉冲优选以时间延迟开始并且例如具有至少基本上相同的持续时间。因此，偏置子脉冲的数量可以等于阴极子脉冲的数量。然而优选的也可以是，偏置子脉冲的数量小于阴极子脉冲的数量，使得例如并非每个阴极子脉冲、而是仅一些阴极子脉冲与例如至少基本上相同的持续时间的偏置子脉冲相关联，例如分别具有时间延迟。这在不同持续时间的阴极子脉冲的情况下可以是特别优选的：当例如在短的阴极子脉冲中达到极其小的峰值功率时，有利的可以是，为此不设有相关联的偏置子脉冲进而放弃在峰值功率较小时产生的离子朝向要覆层的体部的加速。

[0033] 根据一个优选的实施方式，对于阴极子脉冲的相应的序列可以观察等离子体的时间发展和不同类型的离子的形成和走向，以便预设偏置子脉冲的优化的序列。因此，例如可以单独地观察气体和金属离子并且将偏置子脉冲的序列选择成，使得期望类型的离子优选

地用于形成覆层。特别优选地，这是金属离子。例如可以观察，在阴极脉冲期间和在阴极脉冲之后得出不同类型的离子、更确切地说气体和金属离子的出现的时间相关的变化曲线。如果从中观察到一种类型的金属离子(其中不同类型的金属离子彼此间可以通过相应的金属区分并且附加地不同类型可以通过离子化的程度区分)，则在多种情况下为此确定具有一个或多个最大值的时间变化曲线。那么优选的是，将偏置子脉冲的序列选择成，使得在至少一个最大值期间施加偏置子脉冲中的至少一个。如果时间变化曲线具有多个最大值，则优选施加两个或更多个偏置子脉冲，使得其分别在至少一个最大值期间施加。更优选地，在时间变化曲线的位于两个最大值之间的最小值期间为至少一种类型的金属离子设置有子脉冲中断。因此可行的是，选择偏置子脉冲的适合的序列，使得与金属离子的出现的时间进程协调地选择期望类型的离子并且相对于其他离子，尤其气体离子，优选地用于构建覆层。

[0034] 本发明在不同方面可以补充和改进，例如通过涉及不同持续时间的阴极子脉冲的有利的序列的方面，涉及具有短的周期持续时间或高的频率的斩波HIPIMS法的方面和涉及具有电容和充电设备的有利的设施技术的方面。这些方面中的每个方面本身提供个体的优点，同时两个或更多个前述方面的组合尤其证实为有利的。

[0035] 根据作为本发明的改进方案的一个方面，阴极子脉冲中的至少两个阴极子脉冲在其持续时间方面不同。阴极子脉冲在此包括至少一个第一阴极子脉冲和第二阴极子脉冲，其分别持续至少8μs长。第一和第二阴极子脉冲在其持续时间方面不同。

[0036] 在此，名称“第一”和“第二”阴极子脉冲首先一般理解为，第二阴极子脉冲在阴极子脉冲的序列之内在时间上比第一阴极子脉冲更晚地出现，而第一和第二阴极子脉冲不一定必须直接彼此跟随并且与第一阴极子脉冲是否是阴极子脉冲的序列之内的在时间上的第一阴极子脉冲无关。然而，优选地，所述第一阴极子脉冲也可以是在序列之内的第一、即最早的阴极子脉冲，而所述第二阴极子脉冲可以是在序列之内的直接在接着的阴极子脉冲中断之后跟随于此的阴极子脉冲。

[0037] 通过阴极子脉冲的持续时间的这种变化能有针对性地影响等离子体。因为，尽管在将阴极子脉冲分离的阴极子脉冲中断中施加的电压为零或接近零，但是令人惊讶地证实的是，等离子体在彼此跟随的阴极子脉冲中表现不同，例如由于在阴极子脉冲中断期间持续的剩余的离子化。阴极子脉冲的持续时间的提出的变化可实现，利用等离子体中的这种效应并且尤其预设阴极子脉冲的尤其优化的序列。

[0038] 因此，例如通过一个或多个较短的阴极子脉冲可以实现预离子化并且在一个或多个在时间上——直接地或间隔开地——跟随的、较长的阴极子脉冲中用于实现特别高的峰值功率。

[0039] 根据一个优选的实施方案，所述第一阴极子脉冲是阴极脉冲、即阴极子脉冲的序列的在时间上的第一阴极子脉冲。在序列之内，所述第二阴极子脉冲在时间上随后跟随，其中所述第二阴极子脉冲可以直接跟随第一阴极子脉冲或其他阴极子脉冲可以在时间上设置在第一和第二阴极子脉冲之间。第一阴极子脉冲在此优选比第二阴极子脉冲更短。例如，第二阴极子脉冲的持续时间可以为第一阴极子脉冲的持续时间的110％至600％，优选150％至400％，特别优选200％至300％。借助这种阴极子脉冲的序列，在第二阴极子脉冲期间可以实现特别高的峰值功率。

[0040] 在优选的实施方案中，第二阴极子脉冲例如可以持续至少15μs，优选至少20μs，特

别优选至少25μs。第一阴极子脉冲例如可以持续最大25μs，优选最大20μs，特别优选最大15μs。

[0041] 在具有多于两个阴极子脉冲的序列中优选的是，在时间上彼此跟随的阴极子脉冲的脉冲持续时间单调升高，即在时间顺序中从一个阴极子脉冲至下一阴极子脉冲的持续始终相同或更长。根据一个优选的实施方案，阴极脉冲例如可以包括第三阴极子脉冲，所述第三阴极子脉冲在时间上跟随第一和第二阴极子脉冲并且至少持续与第一阴极子脉冲一样长的时间和至少持续与第二阴极子脉冲一样长的时间。

[0042] 根据作为本发明的改进方案的一个方面，在最大1.5ms的异常短的周期持续时间、即至少667Hz的在磁控管阴极上的脉冲的异常高的频率的情况下执行斩波HIPIMS法。HIPIMS法的常见的实施基于明显更低的频率或更高的周期持续时间。发明人已经认识到，通过斩波HIPIMS法，借助大幅提高的峰值功率，令人惊讶地，短的周期持续时间也是可能的并且是有利的。因此，优选1.25ms或更少(对应于至少800Hz的频率)或1ms或更少(对应于至少1kHz的频率)的甚至还更短的周期持续时间是可能的。在一些实施方案中，可应用0.2ms至0.6ms(1.7kHz至5kHz)的甚至还更短的周期持续时间。

[0043] 在频率借此异常高的情况下，功率在非常短的时间段之内、为此以异常高的峰值电功率发出，从中跟随高的离子化。证实为高的频率的优点的尤其是高的沉积率，即相对于较低频率的更快的层构建。这在工业用途中决定性地贡献于方法和设备的经济性。

[0044] 阴极脉冲本身，即阴极子脉冲的序列的总持续时间从而电功率以阴极子脉冲的形式施加的时间在此优选仅占据周期持续时间的小部分，例如小于一半的周期持续时间并且特别优选最大为周期持续时间的三分之一。这在阴极脉冲由充电的电容馈送时是特别有利的。因此，电容在阴极脉冲的整个持续时间期间在各个阴极子脉冲期间放电并且在其余的周期持续时间期间再充电。通过对阴极脉冲的持续时间的限制，可以提供用于对电容充电的足够的时间。阴极脉冲的持续时间优选处于30μs至400μs，特别优选80μs至300μs的范围内。

[0045] 根据作为本发明的改进方案的一个方面，以阴极子脉冲的形式输送给阴极的电功率从阴极功率供应装置的至少一个充电的电容中提供。阴极功率供应装置包括电容以及用于其的充电设备，所述电容优选以多个单个的、并联连接的电容(电容组)的形式提供。

[0046] 这种构造已经证实为特别适合于根据斩波HIPIMS法提供电功率。在此，所有阴极子脉冲的全部电功率优选可以从相同的电容中提供，其中与阴极的电连接借助于开关在阴极子脉冲的持续时间期间闭合并且在(多个)阴极子脉冲中断期间以及在其余的周期持续时间期间断开。开关优选可通过控制设备来操控，例如可以是IGBT。充电设备可以至少在周期持续时间期间在阴极脉冲之外，优选也在(多个)阴极子脉冲中断期间将电功率提供至电容，以便对所述电容充电。特别优选地，充电设备可以持久地与电容保持连接，使得其在阴极子脉冲期间例如并联连接。

[0047] 根据一个优选的实施方式，充电设备可以功率恒定地调节，即构成为，使得输送给电容(或在脉冲期间必要时由电容和腔构成的并联电路)的、在时间上平均的功率设定为固定值。这相对于替选可能的设计、诸如例如设定电容充电至的固定电压证实为是特别稳定的。

[0048] 本发明的不同的方面和改进方案分别是单独有利的，然而特别以组合的形式是有

利的。下面说明一些优选的实施方案，其可借助每个单个的方面、然而同样也借助任意两个、三个或所有四个方面的组合使用。

[0049] 根据一个改进方案，阴极脉冲是具有600V至1200V的峰值的电压脉冲。所述值具体地根据实施方案可以偏离，而电压值的所述区域证实为是优选的。

[0050] 阴极子脉冲可以具有不同的变化曲线和脉冲形状，例如作为三角形脉冲。优选地，阴极脉冲至少基本上是矩形脉冲或梯形脉冲，即所述阴极脉冲具有带有较陡峭地升高的以及下降的边沿和在其之间的近似线性的变化曲线的时间变化曲线。尤其，在馈入的优选的情况下，来自充电的电容的阴极脉冲在更仔细地观察时对应于放电曲线的变化曲线，其中然而优选地选择放电曲线的短的部段，使得该变化曲线与在开始电压(在陡峭的上升沿之后)和结束电压(在陡峭的下降沿之前)之间的线性变化曲线优选不在任何部位偏差大于20％，特别优选不大于10％。在此，证实为有利的是，在开始电压和结束电压之间的变化曲线至少是基本上恒定的，在此将其理解为，电压值不大于优选最大25％、特别优选最大20％地改变。这种脉冲在此基本上视为矩形脉冲。

[0051] 在优选的实施方案中，阴极子脉冲中的至少一个阴极子脉冲的峰值功率处于至少50kW。更优选，可以达到明显更高的峰值功率，例如大于100kW、200kW或更高，特别优选300kW或更高。已证实的是，阴极子脉冲的最大峰值功率的高度对靶材料的金属的离子化具有显著影响。因此，例如检查示出，在钛靶材料的情况下，离子化的与未离子化的粒子(Ti+/Ti)的比例，在阴极子脉冲接近500kW的最大峰值功率的情况下，几乎是当阴极子脉冲的最高峰值功率为150kW时的比例的两倍高。

[0052] 优选地，在阴极子脉冲期间达到的峰值功率在阴极脉冲的时间序列之内升高。根据一个优选的实施方案，阴极脉冲例如可以包括至少一个第一阴极子脉冲和在时间上跟随的第二阴极子脉冲。第二阴极子脉冲可以在时间上直接跟随第一阴极子脉冲(在位于其之间的阴极子脉冲中断之后)，或可以在其之间设置有另外的阴极子脉冲。那么优选的是，峰值功率在第二阴极子脉冲期间比在第一阴极子脉冲期间至少高30％。以这种方式总体上可以实现特别高的峰值功率。

[0053] 本发明可借助完全不同的靶材料以及材料组合有利地应用。靶不仅可以包括金属材料而且可以包括非金属材料。优选地，靶的组成部分中的至少一种组成部分选自以下组：元素周期表的4-6族中的材料以及附加地硼、碳、硅、钇和铝。优选地，靶的所有组成部分选自所述组。借助根据本发明的方法以及根据本发明的设备可以产生由不同的材料体系构成的覆层，所述覆层通过靶组成部分以及必要时气态输送的组成部分形成。因此，除了工艺气体之外尤其也可以使用反应气体，诸如例如氮气、含碳的气体或氧气。

[0054] 施加在待覆层的体部上的偏置电压优选脉冲式地具有偏置电压脉冲，所述偏置电压脉冲与阴极脉冲同步，即以相同的频率和固定的相位关系施加。在此优选的是，其位置和持续时间选择为，使得有针对性地选择离子的类型。位置和/或持续时间可以与在具有最大值的阴极脉冲期间和在所述阴极脉冲之后出现至少一个类型的金属离子的变化曲线相关地选择。那么优选的是，在所述最大值期间施加偏置脉冲。

## 附图说明

[0055] 下面，根据附图详细描述本发明的实施方式。在此示出：

[0056] 图1示出作为本发明的实施方式的覆层设施的俯视图的示意图；

[0057] 图2示出作为要覆层的体部的转位式刀片；

[0058] 图3示出在基底材料上的覆层的示意剖视图；

[0059] 图4示出HIPIMS功率供应装置的一个实施方式的电路图；

[0060] 图5a、5b示出阴极电压以及偏置电压关于时间的示意示出的时间变化曲线；

[0061] 图6a、6b示出对于第一实施例的阴极电压和阴极电流以及离子的数量和类型的测量出的时间变化曲线；

[0062] 图7a、7b示出对于第二实施例的阴极电压和阴极电流以及离子的数量和类型的测量出的时间变化曲线；

[0063] 图8a、8b示出根据第三实施例的阴极电压和阴极电流以及偏置电压和偏置电流的测量出的时间变化曲线；

[0064] 图9a、9b示出根据第四实施例的阴极电压和阴极电流以及偏置电压和偏置电流的测量出的时间变化曲线；

[0065] 图10a、10b示出根据第五和第六实例的电学变量的测量出的时间变化曲线的图表；

[0066] 图11a、11b示出根据第七和第八实例的电学变量的测量出的时间变化曲线的图表；

[0067] 图12示出要覆层的体部朝向阴极的靶的定向的示意图；

[0068] 图13a、13b示出根据比较例的在体部的自由面和切削面上的覆层的断裂形态的REM照片；

[0069] 图14a、14b示出根据一个实施例的在体部的自由面和切削面上的覆层的断裂形态的REM照片。

## 具体实施方式

[0070] 在图1中示出PVD覆层设施10的一个实施方式的示意的组成部分。真空腔12的内部空间20可以通过用于产生真空的排气设备14抽真空。工艺气体，优选惰性气体或不同惰性气体的混合物，例如氩气和/或氮可以通过入口16进入。反应气体、诸如例如氮气可以通过入口18进入。在替选的实施方案中，入口16、18也可以通过用于工艺气体和反应气体的共同的入口取代。

[0071] 在真空腔12的内部空间20中，在示例性的装备中设置有四个磁控管阴极22a、22b、22c、22d，其分别具有板状的溅射靶24a、24b、24c、24d。磁控管阴极24a、24b、24c、24d分别连接于可控的HIPIMS电功率供应装置26a、26b、26c、26d，借助于所述HIPIMS电功率供应装置可以相对于真空腔12的导电的壁部施加电压，如下面详细阐述的那样。

[0072] 在此，四个磁控管阴极22a、22b、22c、22d的在图1中示出的装置及其互连理解为示例性的。在替选的实施方式中，可以设有其他电极配置，例如仅一个磁控管阴极22，两个、三个或多于四个磁控管阴极。对于示出的分别连接于HIPIMS功率供应装置26a、26b、26c、26d的磁控管阴极22a、22b、22c、22d附加地或替选地，也可以设有其他类型的阴极，例如DC磁控管阴极，其连接于直流电压功率供应装置。替代如示例性示出地至真空腔12的壁部，磁控管阴极可以电地替选地不同地连接，例如至单独的阳极(未示出)。

[0073] 功率供应装置26a、26b、26c、26d在图1中分别仅示意地示出。图4示出HIPIMS功率供应装置26a的简化的电路图。所述HIPIMS功率供应装置包括由多个并联连接的电容器构成的电容器组作为电容48，用于电容48的充电设备46和可控的开关36，所述开关构成为IGBT。

[0074] 在示出的实施方案中，充电设备46是功率调节的电压源，所述电压源与电容48并联连接。电容48经由开关36与HIPIMS功率供应装置26a的输出端子28连接。在开关36断开时，充电设备46将电容48充电。在开关闭合时，储存在电容48中的电荷提供给输出端子28，即输送给磁控管阴极22a(图1)，其中附加地并联连接的充电设备46也提供功率。开关36在此经由操控装置38由设施10的控制装置50控制。

[0075] 磁控管阴极22a、22b、22c、22d以其溅射靶24a、24b、24c、24d朝真空腔12的中心的方向定向。在那里存在可转动的基底台30，在所述基底台上设置有用于承载基底40、即要覆层的体部的多个可转动的基底承载件32。在示出的实例中，作为基底，将转位式刀片40如在图2中示出的那样装载。基底40由基底材料42构成，例如在转位式刀片40的情况下由WC/Co烧结材料构成。在此，这仅为要覆层的基底40的一个实例；替选地，可以对不同形状和不同材料的构件或工具覆层。

[0076] 基底40经由基底承载件32与基底台30电连接。在基底台30上连接有可控制的偏置功率供应装置34，借助于所述偏置功率供应装置，相对于真空腔12的壁部的偏置电压$V_B$可以施加到基底台30上进而施加到基底40上。由此得出在等离子体中的离子流，所述离子流在基底台的端子上作为偏置电流$I_B$可测量。在此，偏置功率供应装置到真空腔的壁部的连接理解为示例性的，替选地所述偏置功率供应装置也可以连接至单独的阳极。

[0077] 在入口和出口14、16、18上的HIMPS功率供应装置26a、26b、26c、26d，偏置功率供应装置34以及泵(未示出)分别连接于设施10的中央控制装置50。中央控制装置50是可编程的，使得通过控制装置50根据确定的和存储的时间相关的控制程序来控制在真空腔12的内部空间20中进行的预处理和覆层方法的所有参数。在此，控制程序可以改变并且控制装置50可以存储多个不同的控制程序，所述控制程序可以选择性地调用。只要下面涉及在设施10运行中的流程和设置，就在通过控制装置50运行的控制程序中预设所述流程和设置。

[0078] 在设施10的运行中——在通过相应的在控制装置50中运行的控制程序预设之后——首先在真空腔12的内部空间20中产生真空并且使工艺气体、优选氩气进入。随后借助于离子刻蚀进行对基底40的预处理。在刻蚀时，将偏置功率供应装置34操控为，使得所述偏置功率供应装置提供高的(负的)偏置电压$V_B$，通过所述偏置电压将(正)离子加速到基底。在此，可以将气体离子和/或金属离子用于刻蚀并且不同的过程是可行的。

[0079] 在一个优选的实施方案中，首先气体离子刻蚀在磁控管阴极20不运行的情况下在HIPIMS运行模式中进行。气体离子刻蚀在施加作为直流电压的例如在-100V至-400V的范围内的偏置电压$I_B$的条件下可以构成为DC刻蚀，或替选地构成为MF刻蚀(偏置电压$I_B$-100V至-700V)。在DC刻蚀的情况下，电子通过空心阴极(未示出)产生并且在阳极(未示出)上引出。基底台30位于阳极和空心阴极之间。在MF刻蚀的情况下，MF功率供应装置(未示出)对于产生电子负责，所述电子又将气体离子化。所述电子在真空腔12的壁部(运行接地部)处引出。

[0080] 在气体离子刻蚀之后，优选地可以将金属离子刻蚀用于进一步改善粘附。在此，例如，一个或两个磁控管阴极22a-d(例如装配有由Cr、Ti、V构成的靶)在HiPIMS运行模式中以

高的峰值功率运行，使得将供体材料离子化。附加地，将偏置电压$V_B$作为直流电压(DC)或脉冲式地施加，其中偏置电压$V_B$的脉冲可以同步为阴极脉冲。偏置电压$V_B$优选处于-300V至-1200V之间。

[0081] 由此，接着，在经预处理的基底表面上沉积覆层44(图3)。为此，操控HIMPS功率供应装置26a、26b、26c、26d以及偏置功率供应装置34以提供适合的偏置电压$V_B$以及阴极电压$V_C$；下面阐述对此的实例。操控入口16、18以输送工艺气体(氩气)以及必要时输送反应气体(例如氮气)。在真空腔12的内部空间20中产生等离子体，在所述等离子体下方溅射靶24a。等离子体的正离子通过负的偏置电压$V_B$朝向基底40的基底材料42的表面加速并且在那形成覆层44(图3)。

[0082] 在此，由HIMPS功率供应装置26a、26b、26c、26d根据HIPIMS法在周期性的脉冲中将电功率输送给磁控管阴极22a、22b、22c、22d。在此，将电功率根据斩波HIPIMS法例如如在图5a、5b中示意地对于在第一磁控管阴极22a上的电压$V_{C1}$的变化曲线示出的那样以脉冲持续时间P的阴极脉冲60的形式输送，所述脉冲持续时间就其而言划分为——在图5a的示出的实例中三个和在图5b中四个——阴极子脉冲62，其具有脉冲持续时间$P_1$、$P_2$、$P_3$、$P_4$。在阴极子脉冲62之间是具有持续时间$Z_1$、$Z_2$、$Z_3$的阴极子脉冲中断64，在所述阴极子脉冲中断中不施加电压。阴极脉冲60周期性地具有频率f或周期持续时间T。在阴极脉冲60结束之后，对于周期持续时间T的其余时间同样不施加电压。

[0083] 在图5a的实例中，阴极脉冲60的序列包括三个阴极子脉冲62，其分别具有相同的持续时间$P_1$、$P_2$、$P_3$。在图5b的实例中示出阴极子脉冲62a、62b的其他序列，其首先具有两个较短的阴极子脉冲62a并且随后具有两个较长的阴极子脉冲62b。

[0084] 在图5a、5b中示出的在磁控管阴极上的电压$V_{C1}$的脉冲序列通过HIPIMS功率供应装置26a-d由控制装饰50的操控来预设，更确切地说通过适当地操控HIPIMS功率供应装置26a-d中的开关36。在此，要指出的是，在图5a、5b中的示图简化地为理想化的矩形脉冲形状，而实际的电压变化曲线，如下面所讨论和单独示出的那样，与其不同。尤其，在阴极子脉冲的持续时间期间，真实的脉冲形状示出呈电容48的放电曲线的形式的一定的下降，然而在阴极子脉冲中断64期间具有通过充电设备46的一定的再充电。

[0085] 偏置电压$V_B$可以在覆层持续时间期间根据实施方案具有不同的时间变化曲线。尤其，可以将偏置电压$V_B$作为直流电压或脉冲式地施加。优选的实施方案的实例示意地在图5a、5b中示出。

[0086] 在图5a的实例中，将偏置电压$V_B$以总持续时间B的三个偏置脉冲66的形式施加，其中偏置脉冲66周期性地具有与阴极脉冲60相同的频率或周期持续时间T。如阴极脉冲60那样，偏置脉冲66也划分，即划分成相应的持续时间$B_1$、$B_2$、$B_3$的偏置子脉冲68，其之间具有相应的持续时间$Z_{B1}$、$Z_{B2}$的偏置子脉冲中断70。在此，每个偏置脉冲66之内的偏置子脉冲68的序列对应于每个阴极脉冲60之内的阴极子脉冲64的序列，即每个阴极子脉冲64与相同持续时间的偏置子脉冲68相关联，然而在时间上错开，即分别以延迟时间$T_D$延迟。

[0087] 在图5b的实例中，将偏置电压$V_B$以在每个周期持续时间T之内仅两个偏置子脉冲66的形式施加。在此，偏置子脉冲66的序列仅部分地对应于阴极子脉冲64a、64b的序列，因为并非每个阴极子脉冲64都与偏置子脉冲68相关联：两个较短的第一阴极子脉冲64a不与偏置子脉冲相关联，而较长的第三和第四阴极子脉冲分别跟随有以延迟时间$T_D$延迟地相关

联的持续时间相同的偏置子脉冲68。

[0088] 偏置电压$V_B$的在图5a、5b中示出的脉冲序列同样理想化地示出。如阴极电压$V_{C1}$的脉冲序列那样，其由控制装置50通过适当地操控偏置功率供应装置34预设。所述偏置功率供应装置同样包括可控制的开关(未示出)，根据实施方案，通过所述开关优选地如在HIPIMS功率供应装置26a中那样将电容器组选择性地与输出端连接或替选地直接与直流电压源连接。

[0089] 根据第一实例(图6a、6b)以及第二实例(图7a、7b)在下文中示出，可以如何通过将偏置脉冲66和偏置子脉冲68与阴极脉冲60和阴极子脉冲62同步来影响覆层44的组成。

[0090] 在第一实例中，图6b对于具有由钛制成的靶的磁控管阴极以及在对一些类型的在等离子体中形成的离子将氮气作为反应气体以及将氩气作为工艺气体输送的条件下示例性地示出在施加阴极脉冲60之后的相应的时间变化曲线，其具有在图6a中示出的变化曲线，所述变化曲线具有两个各为20μs的持续时间$P_1$、$P_2$的阴极子脉冲62连同在阴极子脉冲62之间的30μs的持续时间$Z_1$的阴极子脉冲中断64。

[0091] 如所示出的，等离子体包含不同种类的金属和气体离子，其中然而仅对于四种类型的离子示出相应的时间变化曲线：$Ti^+$、$Ti^{2+}$、$N_2^+$和$N^+$。其显示出不同的时间变化曲线。因此，$Ti^+$金属离子在阴极脉冲60开始之后大约120μs时显示出突出的最大值。这尤其是值得注意的，因为阴极脉冲60的总持续时间P仅为70μs。

[0092] 能够如示意性示出的那样限定时间段72，在所述时间段中$Ti^+$金属离子占优。

[0093] 通过负的偏置电压$V_B$，等离子体的正的气体和金属离子朝向基底材料42的表面的方向加速进而变成在那积聚的覆层44的一部分。在DC偏置、即连续的直流电压作为偏置电压$V_B$的情况下，对于层构造无区别地选择所有离子。在偏置电压$V_B$的与在磁控管阴极22a-d上的电压$V_C$的时间变化曲线同步的如在图5a、5b中示出的脉冲式的时间变化曲线中，通过适当地选择时间同步，即延迟时间$T_D$和相应的偏置子脉冲68的持续时间，可以在等离子体中在不同的时间点存在的气体和金属离子的条件下做出选择。

[0094] 因此，在图6a、6b的第一实例中，例如仅可以在时间段72期间施加偏置电压$V_B$，在所述时间点中$Ti^+$离子达到最大值。在此情况下，偏置电压$V_B$能够以连续的偏置脉冲66的形式施加，所述偏置脉冲不划分为偏置子脉冲68。

[0095] 在图7a、7b的第二实例中，示出对应于第一实例的示图的关系，同样对于具有由钛制成的靶的磁控管阴极22a以及在将氮气作为反应气体以及将氩气作为工艺气体输送的条件下。如在图7a中所示出的，在第二实例中，阴极脉冲60包括不同持续时间$P_1$＝10μs并且$P_2$＝20μs的两个阴极子脉冲62以及在阴极子脉冲62之间的18μs的持续时间$Z_1$的阴极子脉冲中断64。

[0096] 如在图7b中所示出的，对于阴极子脉冲62的在图7a中示出的序列示出不同类型的离子$Ti^+$、$Ti^{2+}$、$N_2^+$和$N^+$的彼此偏离的时间变化曲线。时间变化曲线与对于阴极子脉冲62的在图6a中示出的序列的在图6b中示出的时间变化曲线不同。在图7b中，尤其地，$Ti^+$离子示出在大约t＝30μs和t＝90μs处的两个最大值连同位于其之间的在大约t＝50μs处的最小值。在此，较高的第二最大值在阴极脉冲结束之后也处于t＝48μs处。

[0097] 由此，在图7b中——与根据图6b的第一实例不同——能限定两个单独的时间段72，在所述时间段中，$Ti^+$金属离子占优。

[0098] 对应地，在图7a、7b的第二实例中，偏置电压$V_B$例如能够以两个偏置子脉冲68的形式施加，所述偏置子脉冲分别在时间段72期间施加，其中在其之间在大约40μs-70μs的范围内存在偏置子脉冲中断70。因此，通过有针对性地选择偏置子脉冲68的适合的序列来保证在形成的覆层44中的高份额的$Ti^+$离子。

[0099] 因此，借助于时间同步(偏置子脉冲68的持续时间$B_1$、$B_2$、……$B_n$以及偏置子脉冲68的开始时间，例如分别从阴极脉冲60的开始起或在阴极子脉冲62和偏置子脉冲68相关联的情况下通过相应的延迟时间$T_D$来计算)预设覆层44的组成并且明显地影响层特性。尤其在考虑在覆层44中的工艺气体氩气的份额的情况下(其中然而在图6b、7b的实例中未示出Ar离子的时间变化曲线)，尤其可以适当地预设关于覆层44中的固有应力及其硬度的特性。在氩气份额高的情况下，得出具有高的固有应力和高的硬度的覆层44。具有较小的氩气份额的覆层44是更可延展的并且具有明显更小的固有应力。

[0100] 下面，示出和阐述对于阴极脉冲60的脉冲序列或阴极子脉冲62的序列的其他实例。

[0101] 在第三实例(图8a、8b)中以及在第四实例(图9a、9b)中，在HIPIMS法中以2kHz的频率，即在T＝500μs的情况下运行四个磁控管阴极22a、22b、22c、22d。在时间上平均的电功率分别为每个阴极12kW，即总共48kW。磁控管阴极22a-d装配有由钛、铝和硅制成的靶24a-d，例如两个钛-硅靶和两个钛-铝靶。使氩气作为工艺气体进入并且使氮气作为反应气体进入。

[0102] 在作为基底40的转位式刀片上沉积的层44分别是Al-Ti-Si-N层。

[0103] 第三和第四实例的区别在于阴极子脉冲62的不同的序列(图8a、9a)以及偏置子脉冲68的不同的序列(图8b、9b)。

[0104] 在第三实例中，阴极子脉冲62的序列包括三个阴极子脉冲62，其中第三个比前两个更长。阴极子脉冲62和阴极子脉冲中断64的相应的持续时间是

[0105] $P_1$＝30μs，

[0106] $P_2$＝25μs，

[0107] $P_3$＝60μs，

[0108] $Z_1$＝25μs，

[0109] $Z_2$＝30μs，

[0110] 使得总共得出在500μs的周期持续时间T之内的170μs的脉冲长度P。

[0111] 阴极子脉冲62的脉冲形状分别基本上是矩形的，具有大约680V的电压$V_{C1}$，所述电压在脉冲的进程中略微降低，其中然而在第三阴极子脉冲62中示出电压的大约20％的降低，这仍基本上被视为矩形形状。

[0112] 如所示出的那样，阴极电流$I_{C1}$分别斜坡状地升高，在第一阴极子脉冲62期间升高至大约75A，在第二阴极子脉冲62期间升高至大约145A并且在第三阴极子脉冲62期间升高至大约220A的峰值。由此，证实为有益的是，第三阴极子脉冲62比第一和第二阴极子脉冲62明显更长，使得在那达到的峰值功率大约为120kW。

[0113] 偏置电压$V_B$的所属的序列如在图8b中所示出的那样具有三个偏置子脉冲68，所述偏置子脉冲的持续时间基本上对应于分别相关联的阴极子脉冲62的持续时间，所述阴极子脉冲然而以大约20μs的延迟时间$T_D$施加。

[0114] 产生的偏置电流$I_B$在第一偏置子脉冲68期间达到大约15A的峰值，在第二偏置子脉冲68期间达到大约33A的峰值并且在最长的第三偏置子脉冲68期间达到高于60A的峰值，这显示出，大数量的离子朝向基底42加速。

[0115] 在第三实例中，覆层44以1.9μm/小时的沉积率生长。

[0116] 作为代表离子化的量值，可以借助于OES来测量在等离子体中的离子化的钛原子相对于未离子化的钛原子的数量的份额。在第三实例中，对于具有大约1.2的比例的$Ti^+/Ti$得出非常高的离子化。在其他方面相同的条件下具有未划分的HIPIMS脉冲的比较例在此仅实现0.93的比例。

[0117] 在第四实例中，阴极子脉冲62的序列如在第三实例中那样同样包括三个阴极子脉冲62，其中与第三实例相比，第一阴极子脉冲更短并且第三阴极子脉冲更长，使得得出升高的阴极子脉冲持续时间的序列：

[0118] $P_1=20\mu s$，

[0119] $P_2=25\mu s$，

[0120] $P_3=70\mu s$，

[0121] $Z_1=25\mu s$，

[0122] $Z_2=30\mu s$。

[0123] 在此，脉冲长度P总共也为170μs。脉冲形状如在第三实例中基本上是矩形的(在第三阴极子脉冲62期间具有略微更大的降低)。分别斜坡状升高的阴极电流$I_{C1}$在第一阴极子脉冲62期间仅达到大约25A，在第二阴极子脉冲62期间达到大约100A并且在第三阴极子脉冲62期间达到大约215A。与第三实例相比，达到几乎130kW的还更高的峰值功率。

[0124] 在第四实例(图9b)中，偏置电压$V_B$也具有三个偏置子脉冲68，其中偏置子脉冲68和阴极子脉冲62以及偏置子脉冲中断70和阴极子脉冲中断64的持续时间同样基本上一致，其中然而偏置子脉冲68以大约25μs的延迟时间$T_D$延迟。偏置电流$I_B$在第一偏置子脉冲68期间达到仅大约5A的峰值，在第二偏置子脉冲68期间达到大约25A的峰值并且在第三偏置子脉冲68期间达到大约65A的峰值。如在第三实例中，沉积率同样为1.9μm/小时。

[0125] 在第四实例中，得出1.57的$Ti^+/Ti$比例进而相对于第三实例再次升高的离子化。

[0126] 与根据具有未划分的HIPIMS脉冲、然而其他条件相同的比较例的覆层44(图13a、13b)相比，在图14a、14b中示出在基底材料42上的这样制造的覆层44。分别示出在自由面52上和在切削面54上的覆层44，所述自由面如在图12中粗略示出地在覆层设施10的运行期间朝向靶24a的方向定向，所述切削面与其正交地设置。

[0127] 图14a示出在体部40的自由面52上的覆层44，其借助根据图9a、9b的阴极子脉冲62的序列通过特殊的斩波HIPIMS法产生。相对于在图13a中示出的比较例，覆层44示出明显更精细的结构。

[0128] 在不朝向靶24b的方向定向(图12)的切削面54上，覆层44也如从图14b中可见的那样示出与比较例(图13b)相比明显更精细的结构。此外表明，在根据图13b的比较例中，覆层44具有倾斜的生长方向，在此示例性地通过白色箭头示出，所述生长方向不正交于基底表面，而是朝向靶24b的方向倾斜地定向，而如从图14b中可见的那样，在具有根据图9a、9b的阴极子脉冲62的特殊序列的斩波HIPIMS法的实例中不可识别这种倾斜的生长方向，而覆层44可见地正交于基底表面生长。

[0129] 假设,所述较均匀的生长包括较精细的结构是较高离子化的结果。

[0130] 根据第四实施例创建的覆层44尤其在被覆层的工具上示出特别有益的特性。在借助转位式刀片的切削试验中,所述转位式刀片一方面根据上述比较例(连续的、未划分的HIPIMS脉冲)并且另一方面借助根据上面的第四实例的阴极子脉冲62和偏置子脉冲68的序列被覆层,在对于第四实例的分别6μm厚的覆层44中,证实在切削X6CrNiMoTi17-12-2时相对于比较例延长20%的使用寿命。

[0131] 下面,示出阴极子脉冲62或偏置子脉冲68的序列的其他实例。

[0132] 因此,首先与根据图10a的第五实例和根据图10b的第六实例相比,示出偏置电压$V_B$的时间变化曲线的不同类型的同步。在此,在两个实例中,偏置电压$V_B$划分为与阴极子脉冲62同步的偏置子脉冲68。然而,在第五实例(图10a)中,设有不具有延迟时间($T_D$=0μs)的同步,而在第六实例(图10b)中设有延迟时间($T_D$=10μs)。

[0133] 图10a示出在第一磁控管阴极22a上的电压$V_{C1}$、至第一磁控管阴极22a的电流$I_{C1}$、用于两个彼此跟随的阴极子脉冲62连同在其之间的阴极子脉冲中断64的偏置电压$V_B$以及偏置电流$I_B$的测量出的变化曲线。

[0134] 频率处于1000Hz(T=1ms)。阴极子脉冲62和阴极子脉冲中断64的脉冲持续时间是$P_1$=20μs,$P_2$=20μs,$Z_1$=10μs。阴极脉冲60的脉冲持续时间是50μs(对应于周期持续时间T的5%)。偏置电压$V_B$周期性地具有相同的频率并且包括两个偏置子脉冲66和偏置子脉冲中断70,其中$B_1$=20μs,$B_2$=20μs,$Z_{B1}$=10μs,其与具有相同的持续时间而没有延迟($T_D$=0μs)的阴极子脉冲62同步。

[0135] 在图10a的实例中,HIPIMS功率供应装置26a的充电设备46调节为3000W的恒定功率。HIPIMS功率供应装置26a的电容48在第一阴极子脉冲62开始时充电至大约700V。如所示出的那样,阴极子脉冲62基本上具有矩形形状,其中在阴极子脉冲62的持续时间内具有电压$V_{C1}$的轻微的降低以及小的过冲。

[0136] 阴极电流$I_{C1}$在第一阴极子脉冲62期间示出略微升高至大约150A的峰值的变化曲线,在第二阴极子脉冲62期间示出明显更强地升高至大约300A的峰值的变化曲线。因此,在第一阴极子脉冲62中达到大约100kW的功率的峰值(峰值功率),在第二阴极子脉冲62中达到大约200kW的峰值功率。由此得出等离子体的高的离子化并且由此尤其在第二偏置子脉冲62期间得出等离子体的大量载流子,所述载流子撞上基底40,从明显升高的偏置电流$I_B$可读出。

[0137] 因此,图10a的实例示出具有同样长的阴极子脉冲62和相同的脉冲序列的精确(没有延迟)地同步的偏置电压$V_B$的第五实施例。在此表明在第二子脉冲62、68期间所达到的相对高的峰值功率和电流$I_{C1}$和$I_B$的明显升高。

[0138] 与图10a相比,图10b作为第六实施例在其他参数相同时示出在相应的阴极子脉冲62和偏置子脉冲68的开始之间的10μs的延迟时间$T_D$。显示出偏置电流$I_B$的不同的变化曲线,其在相应的偏置子脉冲68期间更快地升高,因为已经提供更多离子。

[0139] 下面,与根据图11a的第七实例和根据图11b的第八实例相比示出阴极子脉冲62的不同的序列。在此,在两个实例中分别施加五个阴极子脉冲62的序列。然而,在第七实例(图11a)中时间上的第一阴极子脉冲62比之后的阴极子脉冲62更短,而在第八实例(图11b)中之前的阴极子脉冲62比之后的阴极子脉冲62更长。

[0140] 两个实例的特征在于以下参数：

[0141]

| | 实例 7（图 11a） | 实例 8（图 11b） |
|---|---|---|
| 频率 | f=1000Hz<br>（T=1ms） | f=1000Hz<br>（T=1ms） |
| 充电设备 46 的功率 | 6kW | 6kW |
| 阴极脉冲 60 的脉冲持续时间 | 120 μs<br>（T 的 12%） | 120 μs<br>（T 的 12%） |
| 阴极子脉冲 62 的数量 | 5 | 5 |
| 阴极子脉冲 62 的序列 | $P_1$=10 μs<br>$P_2$=10 μs<br>$P_3$=20 μs<br>$P_4$=20 μs<br>$P_5$=20 μs | $P_1$=20 μs<br>$P_2$=20 μs<br>$P_3$=20 μs<br>$P_4$=10 μs<br>$P_5$=10 μs |
| 阴极子脉冲中断 64 的序列 | $Z_1$=10 μs<br>$Z_2$=10 μs<br>$Z_3$=10 μs<br>$Z_4$=10 μs | $Z_1$=10 μs<br>$Z_2$=10 μs<br>$Z_3$=10 μs<br>$Z_4$=10 μs |

[0142] 偏置电压$V_B$在图8a、8b中分别是周期性的，具有相同的频率和脉冲序列，与具有相同的持续时间而没有延迟时间($T_D$=0μs)的阴极子脉冲62时间同步。

[0143] 在图11a的实例中，在前两个阴极子脉冲62期间首先仅出现27kW和68kW的低的峰值功率。在随后的较长的阴极子脉冲62期间然而峰值功率大幅升高至179kW和190kW，随后在最后的阴极子脉冲62中仅还达到86kW。

[0144] 在图11b的实例中，仅在值为64kW和156kW的前三个阴极子脉冲62期间得出峰值功率的升高，而峰值功率在随后的阴极子脉冲中是较小的。由此，总体上与在图11a的实例中相比达到峰值功率的较小的值。

[0145] 由此，具有首先较短的阴极子脉冲62和随后较长的阴极子脉冲62的序列证实为是有益的。

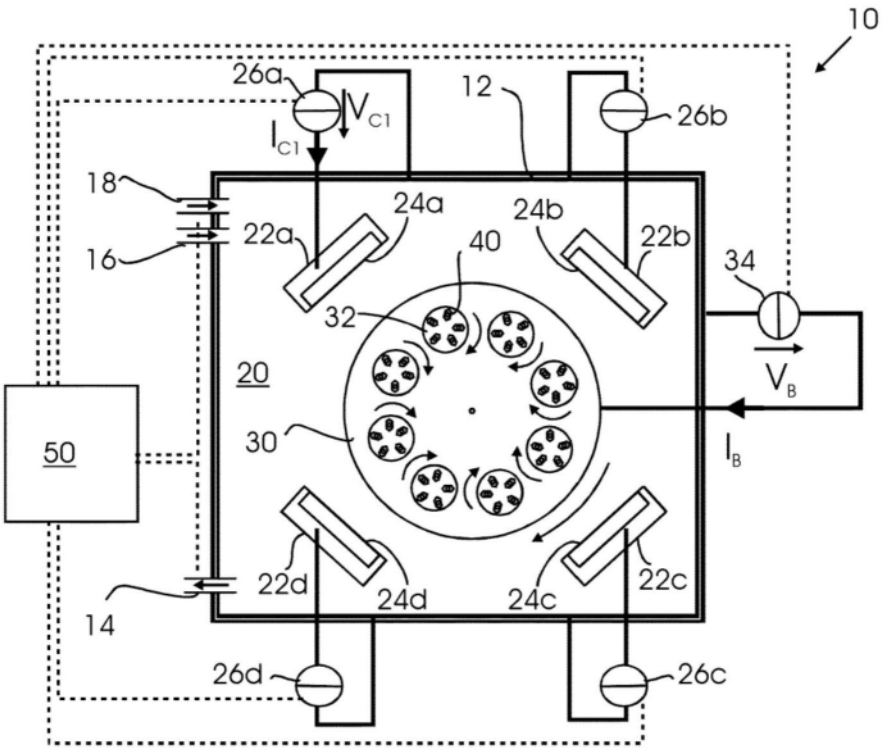

10
26a
$V_{C1}$
$I_{C1}$
12
26b
18
16
22a
24a
24b
22b
40
32
34
$V_B$
20
50
30
$I_B$
22d
24d
24c
22c
14
26d
26c

图1

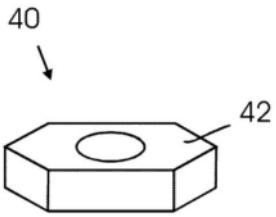

40
42

图2

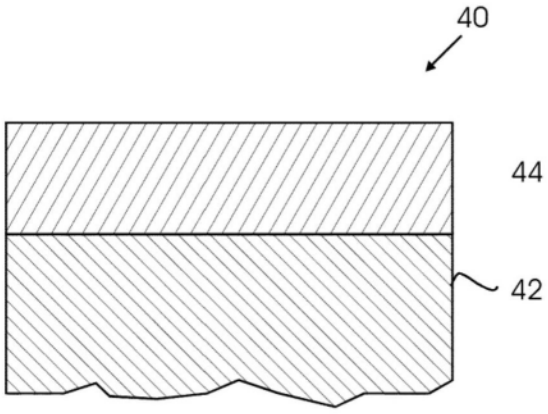

40
44
42

图3

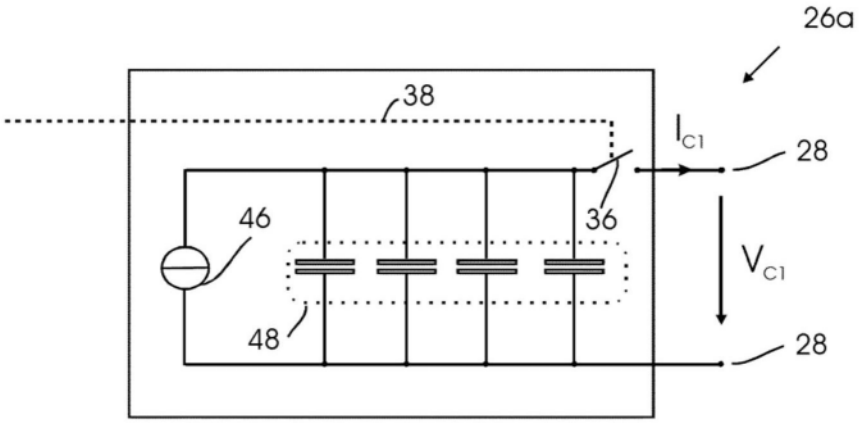

26a
38
$I_{C1}$
28
46
36
$V_{C1}$
48
28

图4

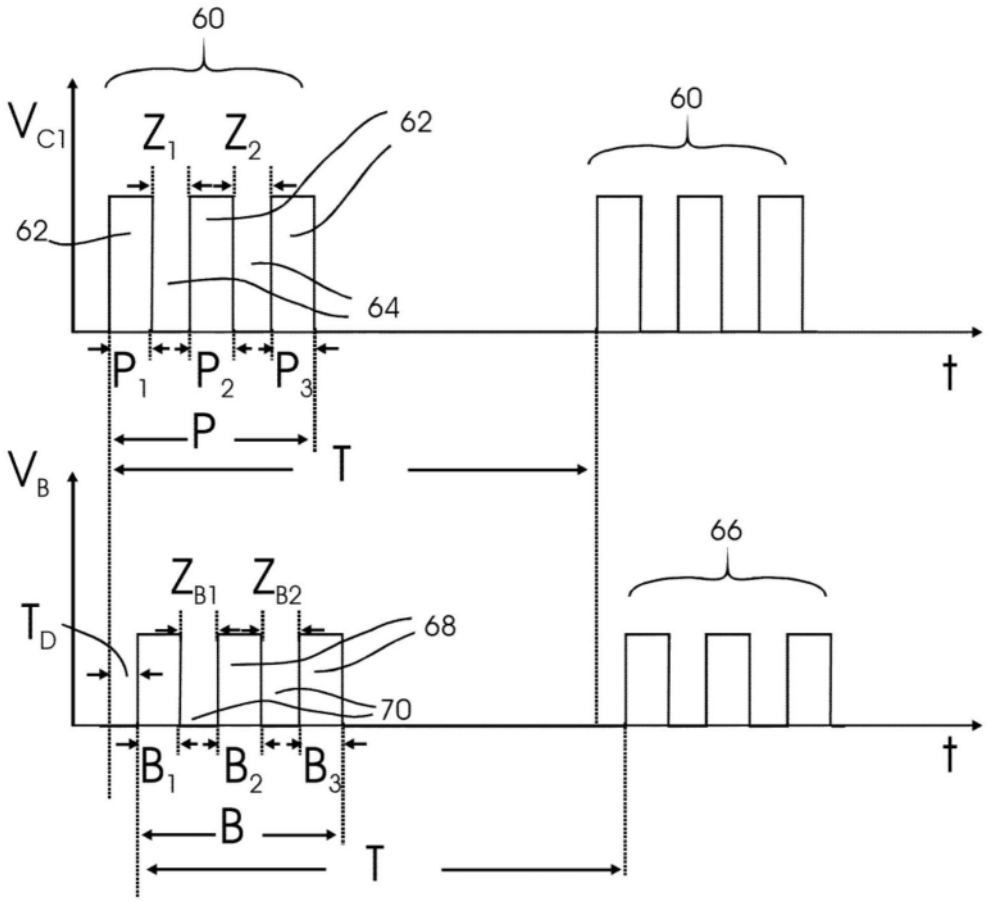

60
$V_{C1}$
$Z_1$
$Z_2$
62
60
62
64
$P_1$
$P_2$
$P_3$
t
P
T
$V_B$
66
$Z_{B1}$
$Z_{B2}$
$T_D$
68
70
$B_1$
$B_2$
$B_3$
t
B
T

图5a

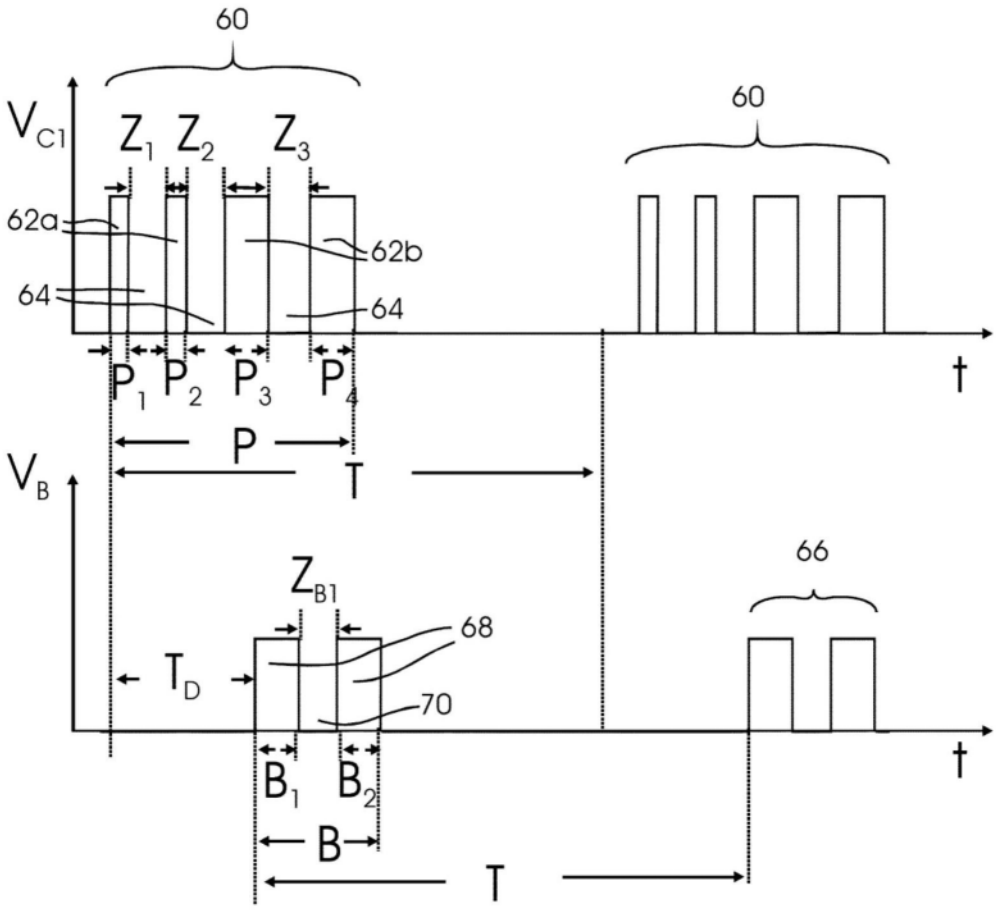

60
60
$V_{C1}$
$Z_1$ $Z_2$ $Z_3$
62a
62b
64
64
$P_1$ $P_2$ $P_3$ $P_4$
t
P
T
$V_B$
$Z_{B1}$
66
68
$T_D$
70
$B_1$ $B_2$
t
B
T

图5b

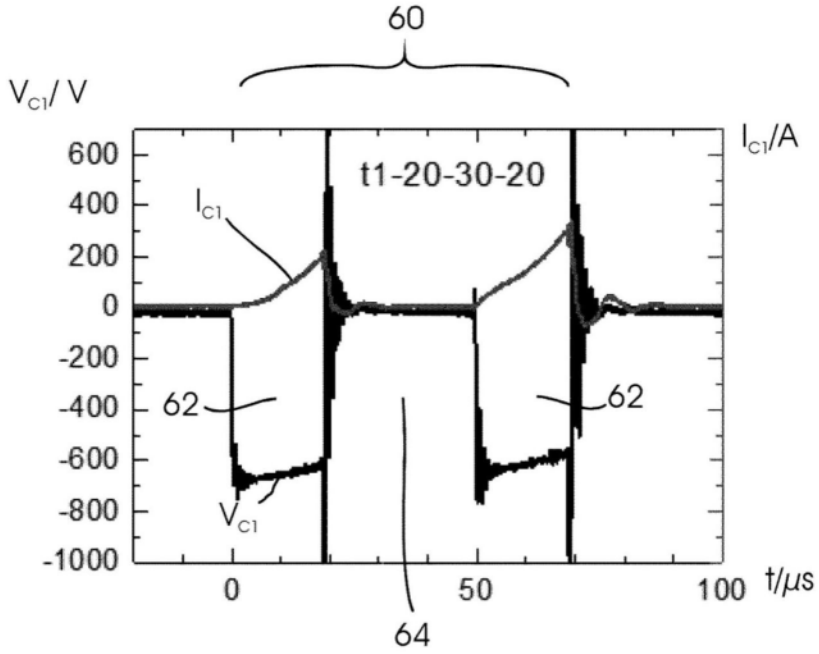

60
$V_{C1}$/ V
$I_{C1}$/A
t1-20-30-20
$I_{C1}$
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
-1000
62
62
$V_{C1}$
0
50
100
t/μs
64

图6a

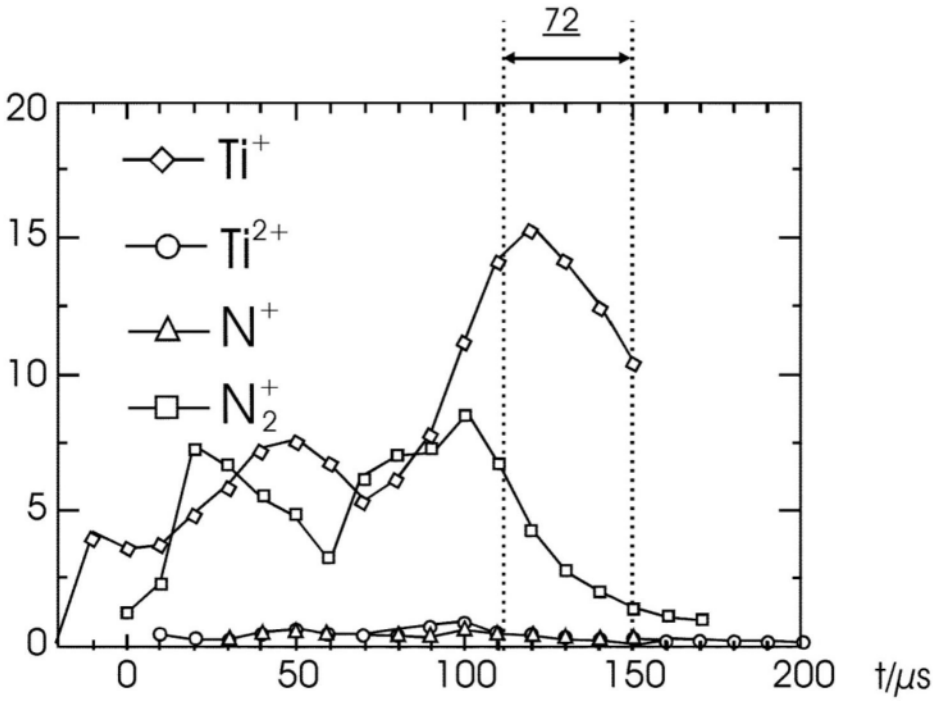

72
20
15
10
5
0
Ti+
Ti2+
N+
N2+
0
50
100
150
200
t/μs

图6b

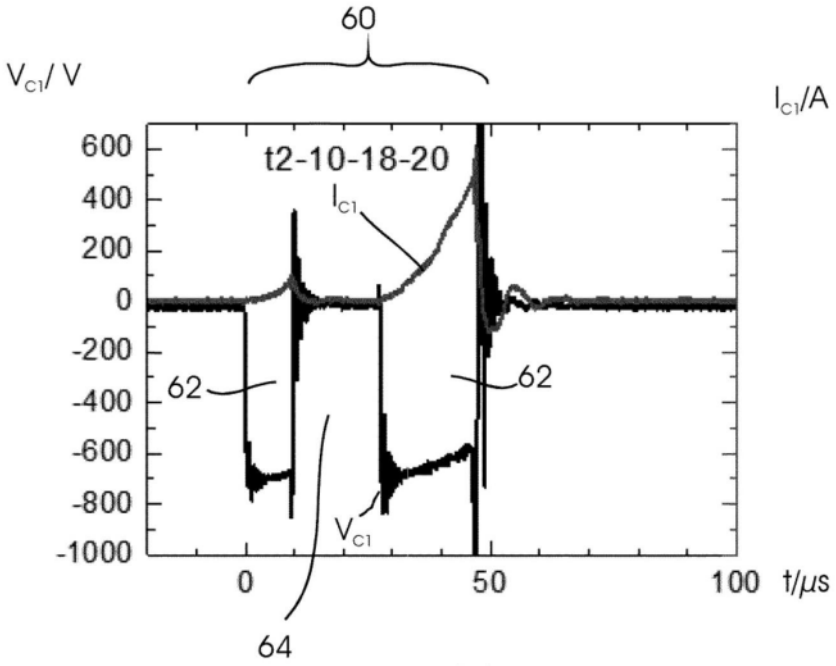

60
Vc1/ V
Ic1/A
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
-1000
t2-10-18-20
Ic1
62
62
Vc1
64
0
50
100
t/μs

图7a

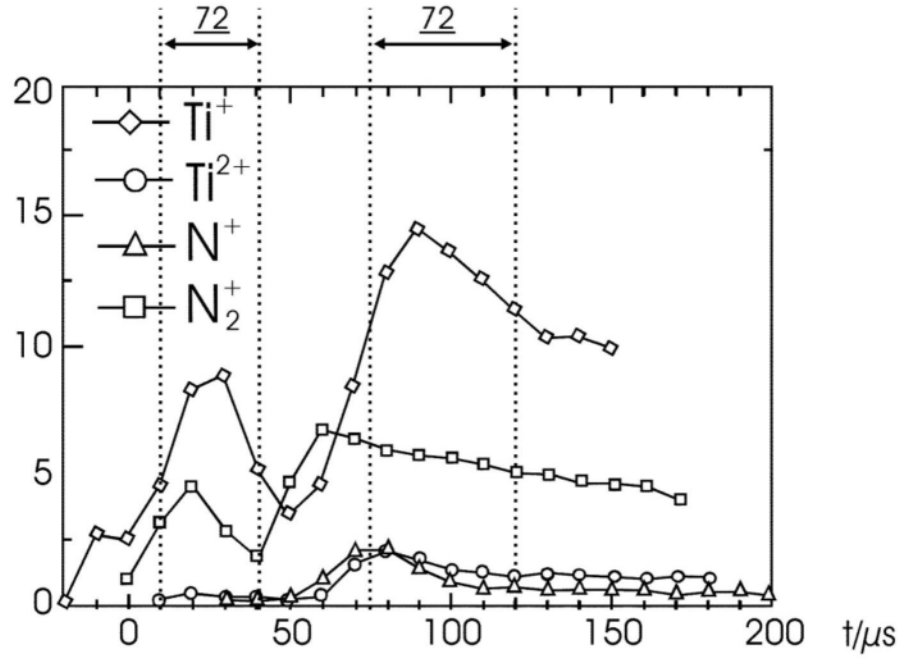

72
72
20
15
10
5
0
Ti+
Ti2+
N+
N2+
0
50
100
150
200
t/μs

图7b

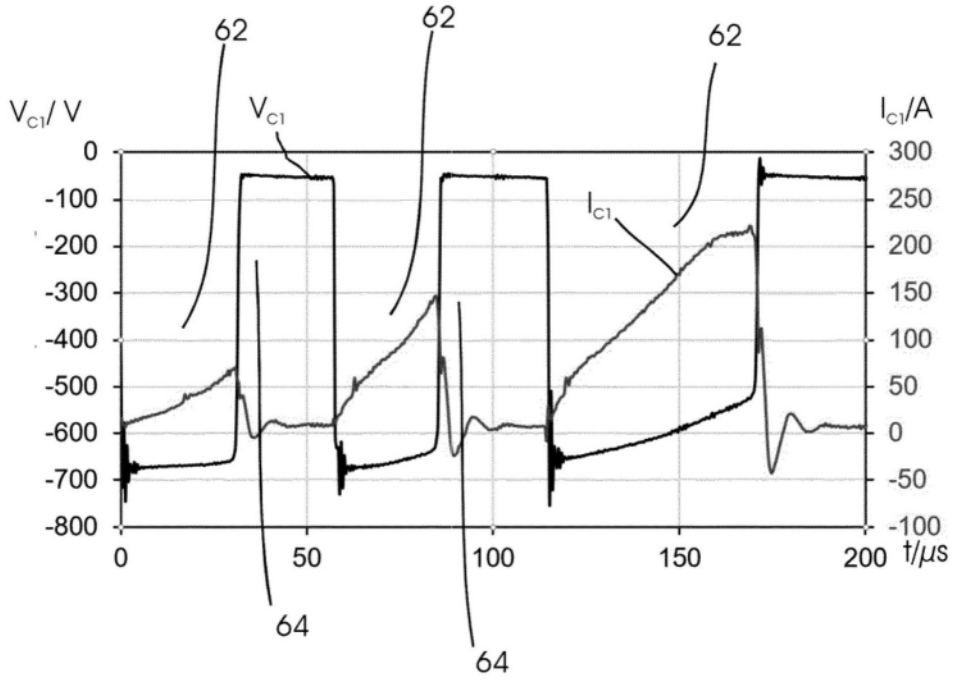

62
62
62
VC1/ V
VC1
IC1/A
0
-100
-200
-300
-400
-500
-600
-700
-800
300
250
200
150
100
50
0
-50
-100
IC1
0
50
100
150
200
t/μs
64
64

图8a

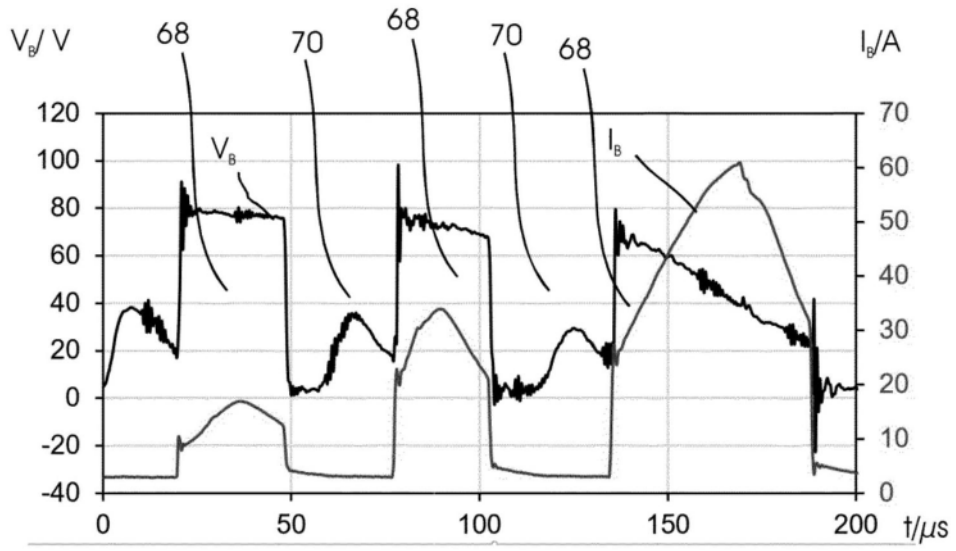

$V_B$/ V
$I_B$/A
68
70
68
70
68
$V_B$
$I_B$
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
70
60
50
40
30
20
10
0
0
50
100
150
200
t/μs

图8b

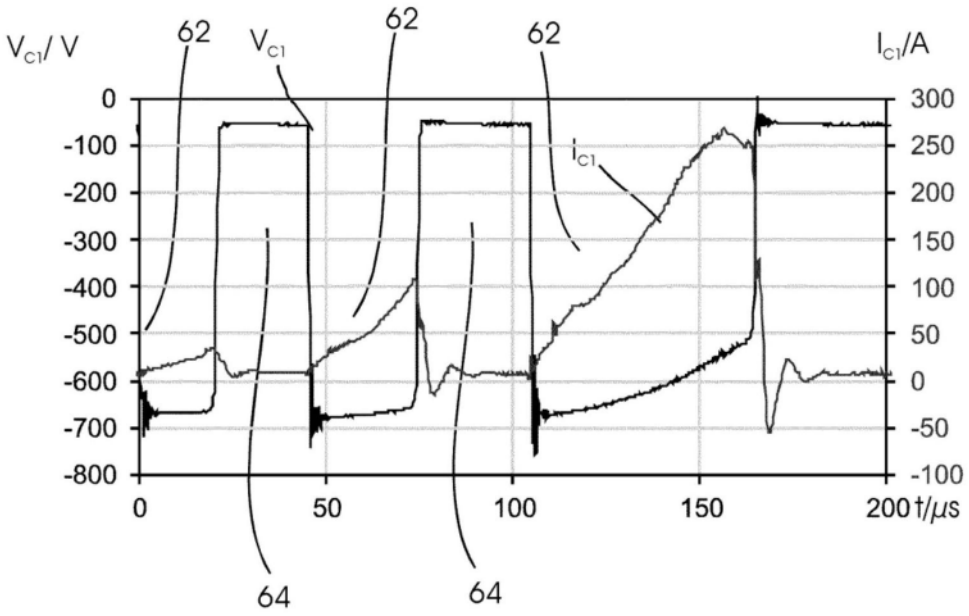

$V_{C1}$/ V
$I_{C1}$/A
62
$V_{C1}$
62
62
$I_{C1}$
0
-100
-200
-300
-400
-500
-600
-700
-800
300
250
200
150
100
50
0
-50
-100
0
50
100
150
200
t/μs
64
64

图9a

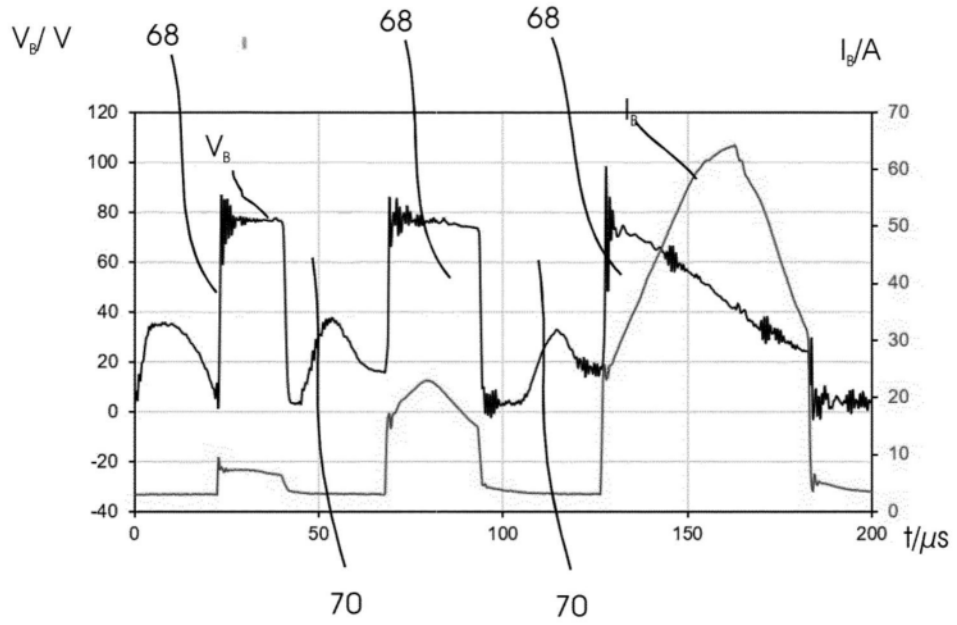

$V_B$/ V
$I_B$/A
68
68
68
$V_B$
$I_B$
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
70
60
50
40
30
20
10
0
0
50
100
150
200
t/μs
70
70

图9b

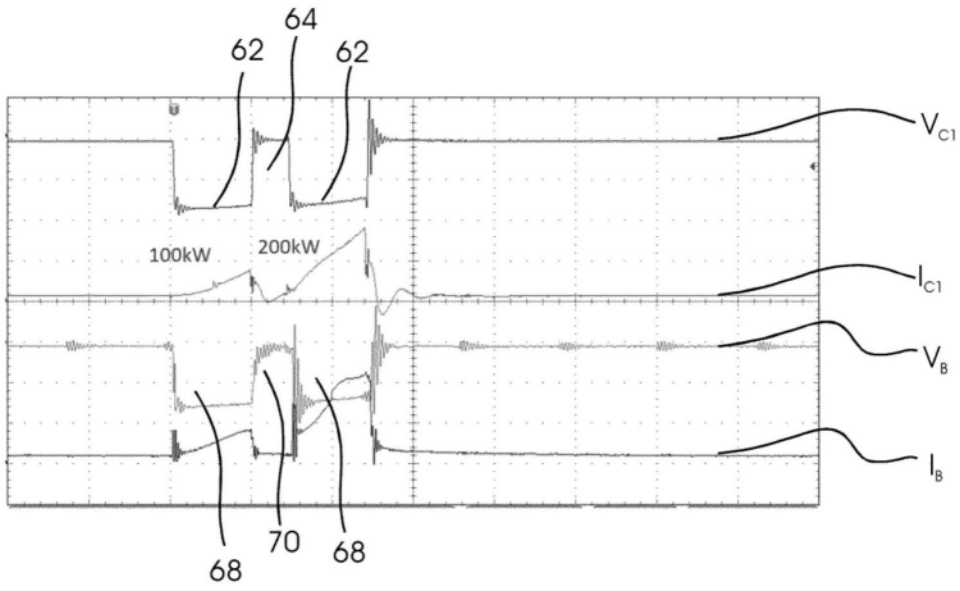

64
62
62
$V_{C1}$
100kW
200kW
$I_{C1}$
$V_B$
$I_B$
68
70
68

图10a

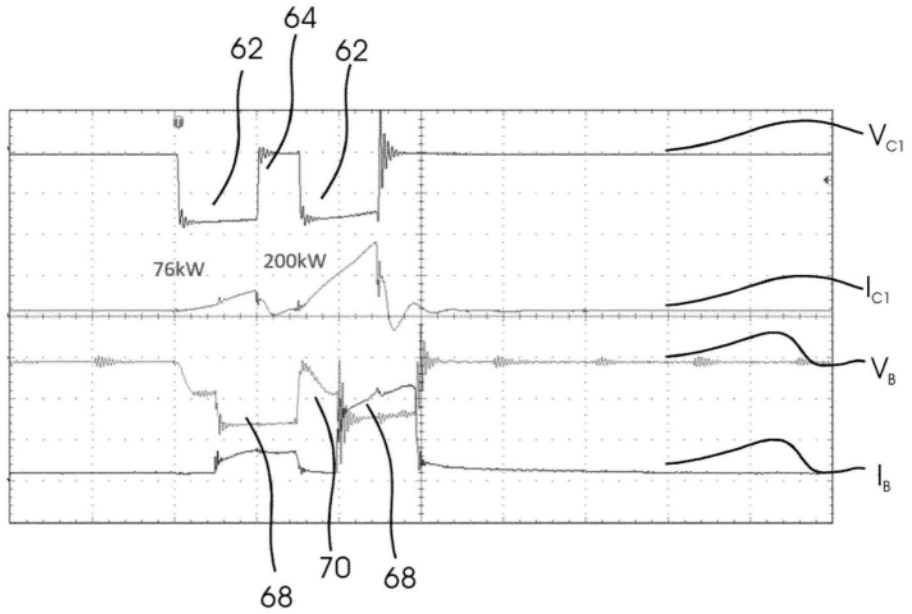

64
62
62
$V_{C1}$
76kW
200kW
$I_{C1}$
$V_B$
$I_B$
68
70
68

图10b

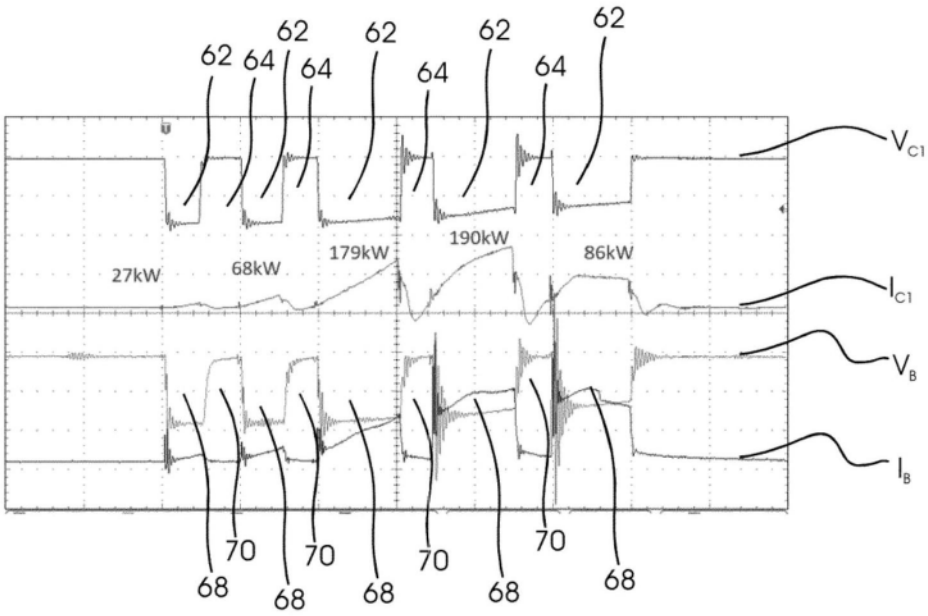

62
62
64
64
62
64
62
64
62
$V_{C1}$
27kW
68kW
179kW
190kW
86kW
$I_{C1}$
$V_B$
$I_B$
68
70
68
70
68
70
68
70
68

图11a

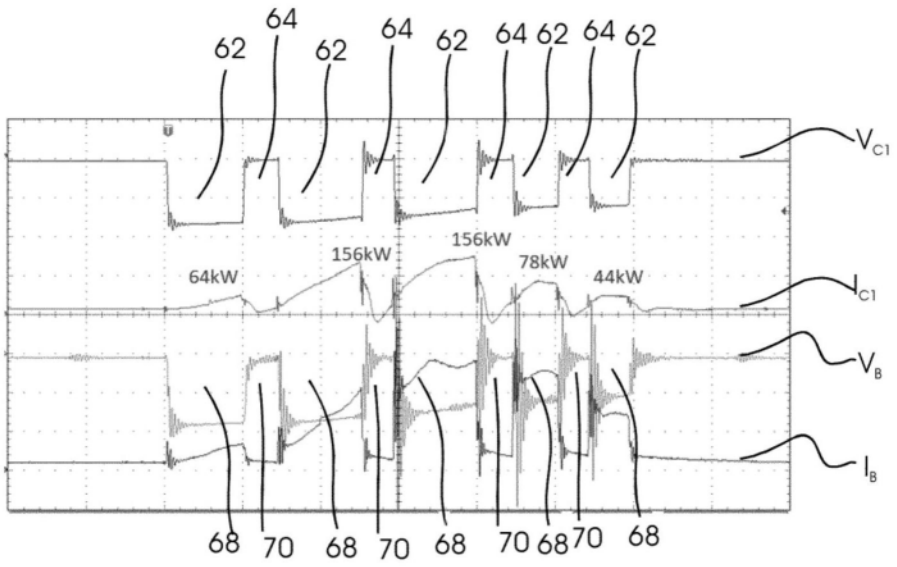



图11b

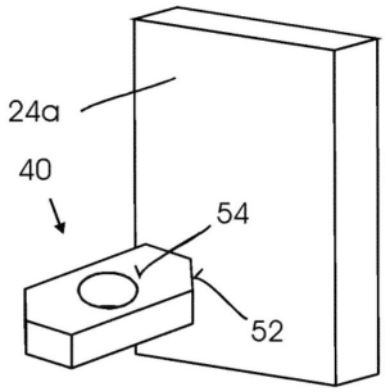



图12

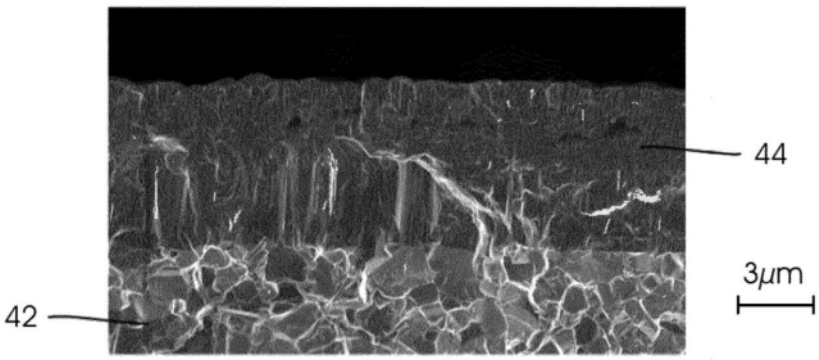



图13a

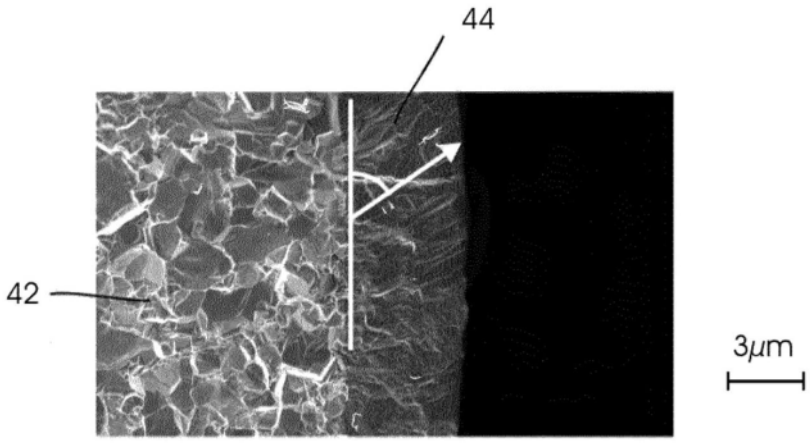



图13b

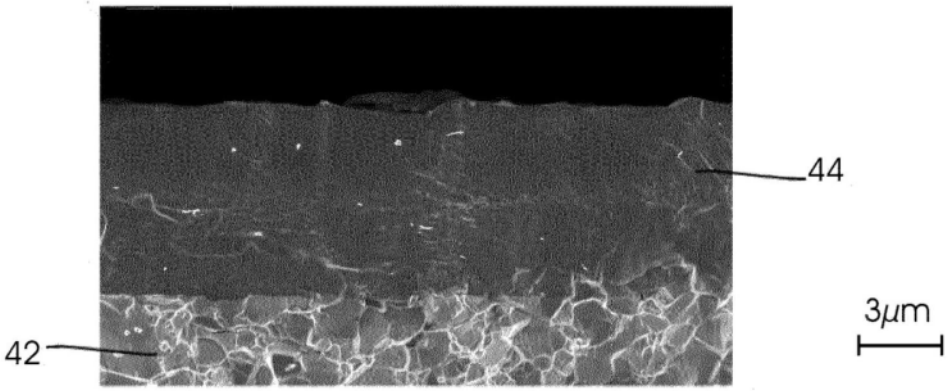



图14a

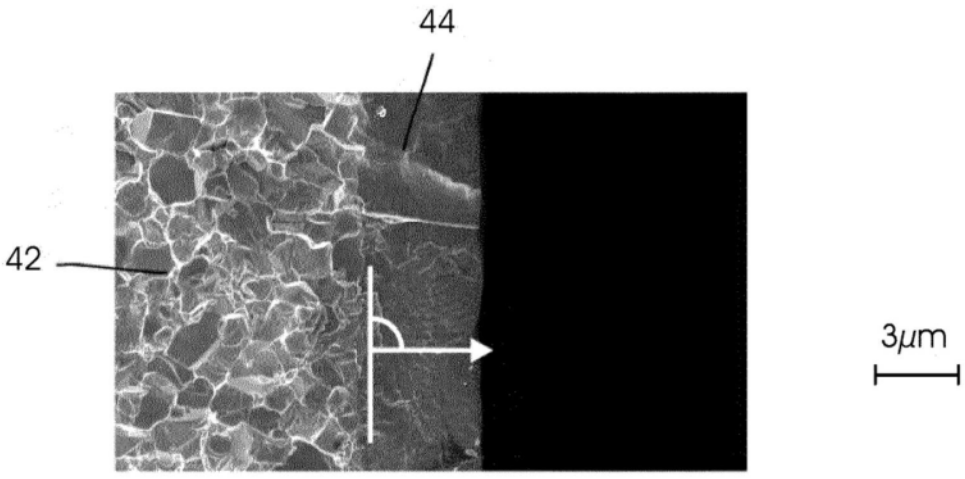



图14b