UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:
37 086

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

H01J 49/22 (2006.01)
H01F 17/02 (2006.01)

(19) ČESKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2023-40882**
(22) Přihlášeno: **15.04.2023**
(47) Zapsáno: **31.05.2023**

(73) Majitel:
Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Brno, Královo Pole, CZ

(72) Původce:
Ing. Ondřej Číp, Ph.D., Brno, Nový Lískovec, CZ
Ing. Petr Jedlička, Ph.D., Brno, Jundrov, CZ
Ing. Martin Čížek, Ph.D., Brno, Komín, CZ
Ing. Minh Tuan Pham, Brno, Bystrc, CZ

(74) Zástupce:
KANIA, SEDLÁK, SMOLA, s.r.o., Mendlovo náměstí 907/1a, 603 00 Brno, Staré Brno

(54) Název užitného vzoru:
Sestava elektrického obvodu symetrického a asymetrického buzení iontové pasti

CZ 37086 U1

Úřad průmyslového vlastnictví v zápisném řízení nezjišťuje, zda předmět užitného vzoru splňuje podmínky způsobilosti k ochraně podle § 1 zák. č. 478/1992 Sb.

Sestava elektrického obvodu symetrického a asymetrického buzení iontové pasti

Oblast techniky

Technické řešení se týká sestavy elektrického obvodu symetrického a asymetrického buzení iontové pasti.

Dosavadní stav techniky

Pro metrologické experimenty založené na přesné frekvenci se používá past pro zachycování iontů, tzv. iontová past nebo Paulova past. Zachycené ionty se v iontové pasti chladí pomocí laseru, aby se dosáhlo základního stavu atomu. V tomto stavu má kvadrupólový přechod zachyceného a zchlazeného iontu nejužší spektrální profil čáry, avšak její hodnota střední frekvence je ovlivněna mikropohybem iontu, který je způsoben vysokofrekvenčním buzením iontové pasti.

Mikropohyb zachycených iontů tedy do systému vnáší významné perturbace. Hlavní účinky jsou Dopplerův posuv a Starkův posuv druhého řádu. V důsledku rozpadu axiální symetrie v lineární iontové pasti může vzniknout oscilující axiální síla, působící na iont.

Tato síla není v axiálním směru rovnoměrná, a na ionty uložené ve směru osy z tedy působí rozdílné hybné síly. Asymetrie může vést ke vzniku nehomogenního oscilujícího elektrického pole, přičemž každý iont v Coulombově krystalu zase může vykazovat rozdílný posun ve frekvenci.

Úkolem tohoto technického řešení je vytvořit takovou sestavu elektrického buzení iontové pasti, pomocí které bude možné provádět experimenty za účelem maximální možné eliminace mikropohybů iontů nebo atomů Coulombova krystalu v iontové pasti, zvláště pohybů v její ose z, tedy v podélné ose.

Podstata technického řešení

Výše uvedený úkol je vyřešen sestavou elektrického obvodu symetrického a asymetrického buzení iontové pasti, která zahrnuje:

- první vysokofrekvenční zdroj,

- transformátor se spirálovým vinutím, který je svým vstupem propojený s vysokofrekvenčním zdrojem a který má

    - první výstup, který je opatřený prvním měřicím zesilovačem pro monitorování napětí, a

    - druhý výstup, který je opatřený druhým měřicím zesilovačem pro monitorování napětí,

- přepínací prvek, který je propojený s transformátorem pro seřizování symetrie napětí přiváděného prvním výstupem a druhým výstupem,

- iontovou past, přičemž uvedená iontová past zahrnuje

    - první radiální elektrodu a třetí radiální elektrodu, které jsou uspořádány souběžně s osou z iontové pasti a navzájem protilehle a které jsou propojeny s prvním výstupem transformátoru, a

- druhou radiální elektrodu a čtvrtou radiální elektrodu, které jsou uspořádány souběžně s osou z iontové pasti a navzájem protilehle a které jsou propojeny s druhým výstupem transformátoru,

- první axiální elektrodu a druhou axiální elektrodu, které jsou uspořádány na ose z iontové pasti navzájem protilehle.

Tato sestava s výhodou obsahuje první zdroj stejnosměrného napětí, který je propojený s první axiální elektrodou, a druhý zdroj stejnosměrného napětí, který je propojený s druhou axiální elektrodou.

Přednostně tato sestava také obsahuje

- první přídavný obvod pro přidávání vysokofrekvenčního napětí, který je zapojený mezi prvním zdrojem stejnosměrného napětí a první axiální elektrodou, a

- druhý přídavný obvod pro přidávání vysokofrekvenčního napětí, který je zapojený mezi druhým zdrojem stejnosměrného napětí a druhou axiální elektrodou.

Přitom je výhodné, když sestava obsahuje druhý vysokofrekvenční zdroj, který je propojený s prvním přídavným obvodem pro přidávání vysokofrekvenčního napětí, a třetí vysokofrekvenční zdroj, který je propojený s druhým přídavným obvodem pro přidávání vysokofrekvenčního napětí.

Zvlášť výhodné provedení sestavy navíc obsahuje

- třetí měřicí zesilovač uspořádaný pro monitorování napětí přiváděného na první axiální elektrodu a

- čtvrtý měřicí zesilovač uspořádaný pro monitorování napětí přiváděného na druhou axiální elektrodu.

Sestava rovněž přednostně obsahuje vakuovou komoru, ve které je uložena alespoň iontová past.

Objasnění výkresů

Technické řešení je dále podrobněji pomocí příkladných provedení a výkresů, kde na obr. 1 je příčný řez iontovou pastí, na obr. 2 je podélný řez iontovou pastí a na obr. 3 je schéma příkladu sestavy podle tohoto technického řešení.

Příklady uskutečnění technického řešení

Příkladné provedení sestavy znázorněné na obr. 3 zahrnuje iontovou past 1, znázorněnou na obr. 1 a 2.

Iontová past 1 obsahuje čtyři radiální elektrody 11, 12, 13 a 14, které jsou uspořádané souběžně s osou z iontové pasti 1 kolem této osy z se vzájemným rovnoměrným úhlovým rozestupem. První radiální elektroda 11 a třetí radiální elektroda 13 jsou navzájem protilehlé a přivrácené svými břity. Stejně tak druhá radiální elektroda 12 a čtvrtá radiální elektroda 14 jsou navzájem protilehlé a přivrácené svými břity.

Dále iontová past 1 zahrnuje první axiální elektrodu 15 a druhou axiální elektrodu 16 (viz obr. 2), které jsou uspořádány navzájem protilehle v ose z iontové pasti 1 a jsou k sobě přivráceny svými

hroty. Axiální elektrody 15, 16 jsou opatřeny neznázorněným osovým otvorem pro vstup laserového paprsku pro excitaci přechodů iontů, a/nebo pro optický sběr fotonů.

Iontová past 1 je uspořádána ve vakuové komoře 100. Vakuová komora 100 je propojená s vývěvou pro odčerpání vzduchu z vakuové komory 100 a iontovou vývěvou pro udržování vakua ve vakuové komoře 100.

Sestava dále obsahuje transformátor 2 se šroubovicovým vinutím, který je připojen k prvnímu vysokofrekvenčnímu zdroji 31. První vysokofrekvenční zdroj 31 je určen pro buzení transformátoru 2, který je opatřen přepínacím prvkem 21 pro řízení symetrie výstupního vinutí transformátoru 2. Prvním vysokofrekvenčním zdrojem 31 může být například přímý digitální syntezátor.

Transformátor 2 je elektricky propojen s dvojicemi radiálních elektrod 11, 13 a 12, 14, a to tak, že jeho první výstup 26 napájí první a třetí radiální elektrodu 11, 13 a jeho druhý výstup 27 napájí druhou a čtvrtou radiální elektrodu 12, 14.

Vně vakuové komory 100, před vakuovými průchodkami do vakuové komory 100 jsou uspořádány na prvním výstupu 26 první měřicí zesilovač 41 a na druhém výstupu 27 druhý měřicí zesilovač 42, přičemž tyto měřicí zesilovače 41, 42 slouží pro nezávislé monitorování vstupního napětí pro každou dvojici radiálních elektrod 11, 13 a 12, 14.

Dále sestava zahrnuje první zdroj 51 stejnosměrného napětí pro napájení první axiální elektrody 15 a druhý zdroj 52 stejnosměrného napětí pro napájení druhé axiální elektrody 16. První zdroj 51 stejnosměrného napětí je svým výstupem propojený s prvním přídavným obvodem 61 pro vysokofrekvenční řízení napětí na první axiální elektrodě 15.

První přídavný obvod 61 je propojený s první axiální elektrodou 15 pomocí prvního vedení 17, přičemž k prvnímu vedení 17 je připojený třetí měřicí zesilovač 43, který má obdobnou funkci jako výše zmíněný první a druhý měřicí zesilovač 41 a 42, a dále první přepínač SW5, který je propojený s prvním blokovacím kondenzátorem 71 a určený pro vysokofrekvenční uzemnění první axiální elektrody 15. První přídavný obvod 61 je navíc propojen s druhým vysokofrekvenčním zdrojem 32, kterým může být opět například přímý digitální syntezátor

Druhý zdroj 52 napětí je svým výstupem propojený s druhým přídavným obvodem 62 pro vysokofrekvenční řízení napětí na druhé axiální elektrodě 15.

Druhý přídavný obvod 62 je propojený s druhou axiální elektrodou 15 pomocí druhého vedení 18, přičemž k druhému vedení 18 je připojený čtvrtý měřicí zesilovač 44, který má obdobnou funkci jako třetí měřicí zesilovač 43, a dále druhý přepínač SW6, který je propojený s druhým blokovacím kondenzátorem 72 a určený pro vysokofrekvenční uzemnění druhé axiální elektrody 16. Druhý přídavný obvod 62 je navíc propojen s třetím vysokofrekvenčním zdrojem 33, kterým může být opět například přímý digitální syntezátor.

Jak bylo zmíněno výše, iontová past 1 může být spuštěna ve dvou různých režimech, a to v asymetrickém režimu nebo symetrickém režimu. V případě asymetrického režimu jsou druhá radiální elektroda 12 a čtvrtá radiální elektroda 14 drženy na potenciálu země (přepínací prvek 21 je přepnut do polohy na obr. 3 vpravo), zatímco první radiální elektroda 11 a třetí radiální elektroda 13 jsou harmonicky napájeny s amplitudou V_{rf} a s frekvencí Ω. V symetrickém režimu jsou oproti tomu napájeny všechny čtyři radiální elektrody 11, 12, 13, 14, přičemž první radiální elektroda 11 a třetí radiální elektroda 13 mají opačnou fázi než druhá radiální elektroda 12 a čtvrtá radiální elektroda 14.

Ionty, které se dostanou do prostoru mezi radiálními elektrodami 11, 12, 13, 14, jsou jimi vytvářeným oscilujícím elektrickým polem postupně usměrněny tak, že se ustaví na ose z iontové pasti.

Při asymetrickém režimu je pohybová složka iontů ve směru osy z nenulová a může způsobovat významné nežádoucí mikropohyby iontů nebo atomů Coulombova krystalu ve směru osy z. Působením elektrického pole axiálních elektrod 15, 16 jsou proto ionty nebo atomy Coulombova krystalu polohovány z hlediska osy z, případně jsou potlačovány pohyby, resp. mikropohyby iontů po ose z iontové pasti 1.

V ideálním případě by v symetrickém režimu axiální složka elektrického pole zcela zmizela díky dokonale opačným fázím napájecích napětí dvojic radiálních elektrod 11, 12, 13, 14. Pokud nejsou tyto fáze dokonale opačné, může dosahovat axiální složka elektrického pole i v symetrickém režimu významných hodnot, což způsobuje neuniformní mikropohyby iontů na ose z, případně atomů lineárního Coloumbova krystalu. Navíc, i když jsou axiální elektrody 15, 16 napájeny stejnosměrným proudem, parazitní kapacitance mezi jednotlivými elektrodami 11, 12, 13, 14, 15, 16 a elektrickými vedením způsobují buzení axiálních elektrod 15, 16 vysokofrekvenčním napětím, které má odlišné amplitudy a fáze. To by opět způsobovalo mikropohyby iontů po ose z.

Sestava podle tohoto technického řešení ale umožňuje tyto nepříznivé jevy vykompenzovat.

Signály z prvního měřicího zesilovače 41 a druhého měřicího zesilovače 42 jsou přiváděny do neznázorněných elektronických detektorů, které jsou propojené s neznázorněnou vyhodnocovací jednotkou. Na základě vyhodnocení těchto signálů lze pomocí přepínacího prvku 21 seřídit symetrii buzení radiálních elektrod 11, 12, 13, 14.

Signály z třetího měřicího zesilovače 43 a čtvrtého měřicího zesilovače 44, které měří oscilující napětí přiváděná na axiální elektrody 15, 16, jsou přiváděny do neznázorněných elektronických detektorů, konkrétně do digitálního osciloskopu s rozlišením 100 pikosekund, načež jsou výsledky detekce přiváděny do vyhodnocovací jednotky.

Na základě těchto výsledků jsou řízeny první přídavný obvod 61 a druhý přídavný obvod 62 tak, že ke stejnosměrnému napětí z prvního zdroje 51 stejnosměrného napětí se prvním přídavným obvodem 61 přidává vysokofrekvenční napětí a tímto výsledným napětím se budí první axiální elektroda 5, a obdobně ke stejnosměrnému napětí z druhého zdroje 52 stejnosměrného napětí se druhým přídavným obvodem 62 přidává vysokofrekvenční napětí a tímto výsledným napětím se budí druhá axiální elektroda 6.

Popsanou sestavu elektrického obvodu s iontovou pastí 1 lze využít např. v hmotnostní spektrometrii, základním výzkumu ve fyzice nebo při výzkumu kvantových stavů. Spolu s iontovou pastí je za provozu ve vakuové komoře uspořádán zdroj iontů, například tak, jak je to popsáno a znázorněno v užitném vzoru č. 36751.

Ačkoli byla popsána zvlášť výhodná příkladná provedení, je zřejmé, že odborník z dané oblasti snadno nalezne další možné alternativy k těmto provedením. Proto rozsah ochrany není omezen na tato příkladná provedení, ale spíše je dán definicí přiložených nároků na ochranu.

NÁROKY NA OCHRANU

1. Sestava elektrického obvodu symetrického a asymetrického buzení iontové pasti, **vyznačující se tím**, že zahrnuje:

- první vysokofrekvenční zdroj (31),

- transformátor (2) se spirálovým vinutím, který je svým vstupem propojený s prvním vysokofrekvenčním zdrojem (31) a který má

- první výstup (26), který je opatřený prvním měřicím zesilovačem (41) pro monitorování napětí, a

- druhý výstup (27), který je opatřený druhým měřicím zesilovačem (42) pro monitorování napětí,

- přepínací prvek (21), který je propojený s transformátorem (2) pro seřizování symetrie napětí přiváděného prvním výstupem (26) a druhým výstupem (27),

- iontovou past (1), přičemž uvedená iontová past (1) zahrnuje

- první radiální elektrodu (11) a třetí radiální elektrodu (13), které jsou uspořádány souběžně s osou (z) iontové pasti (1) a navzájem protilehle a které jsou propojeny s prvním výstupem (26) transformátoru (2), a

- druhou radiální elektrodu (12) a čtvrtou radiální elektrodu (14), které jsou uspořádány souběžně s osou (z) iontové pasti (1) a navzájem protilehle a které jsou propojeny s druhým výstupem (27) transformátoru (2),

- první axiální elektrodu (15) a druhou axiální elektrodu (16), které jsou uspořádány na ose (z) iontové pasti (1) navzájem protilehle.

2. Sestava podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje první zdroj (51) stejnosměrného napětí, který je propojený s první axiální elektrodou (15), a druhý zdroj (52) stejnosměrného napětí, který je propojený s druhou axiální elektrodou (16).

3. Sestava podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje

- první přídavný obvod (61) pro přidávání vysokofrekvenčního napětí, který je zapojený mezi prvním zdrojem (51) stejnosměrného napětí a první axiální elektrodou (15), a

- druhý přídavný obvod (62) pro přidávání vysokofrekvenčního napětí, který je zapojený mezi druhým zdrojem (52) stejnosměrného napětí a druhou axiální elektrodou (16).

4. Sestava podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje

- druhý vysokofrekvenční zdroj (32), který je propojený s prvním přídavným obvodem (61) pro přidávání vysokofrekvenčního napětí, a

- třetí vysokofrekvenční zdroj (33), který je propojený s druhým přídavným obvodem (62) pro přidávání vysokofrekvenčního napětí.

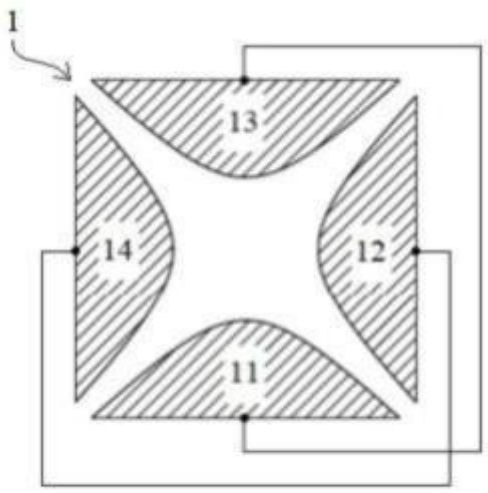
5. Sestava podle nároku 2 nebo 3, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje

- třetí měřicí zesilovač (43) uspořádaný pro monitorování napětí přiváděného na první axiální elektrodu (15) a

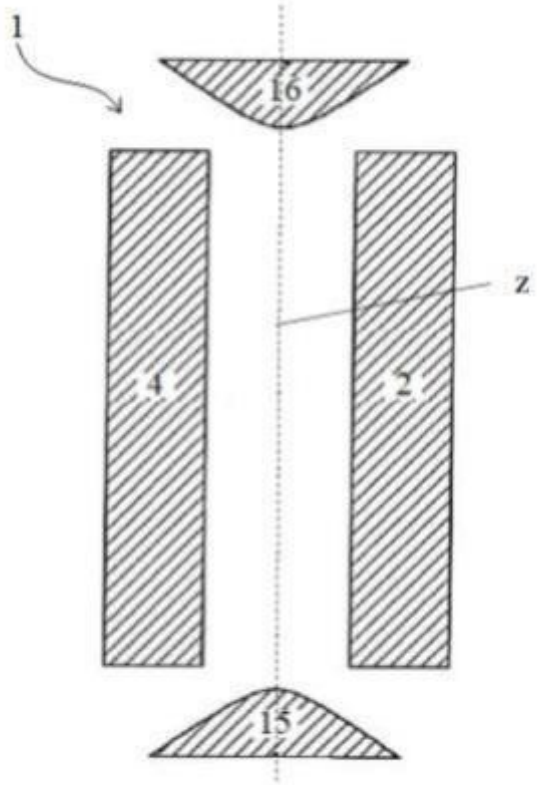
- čtvrtý měřicí zesilovač (44) uspořádaný pro monitorování napětí přiváděného na druhou axiální elektrodu (16).

6. Sestava podle kteréhokoli z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje vakuovou komoru (100), přičemž iontová past (1) je uložena v této vakuové komoře (100).

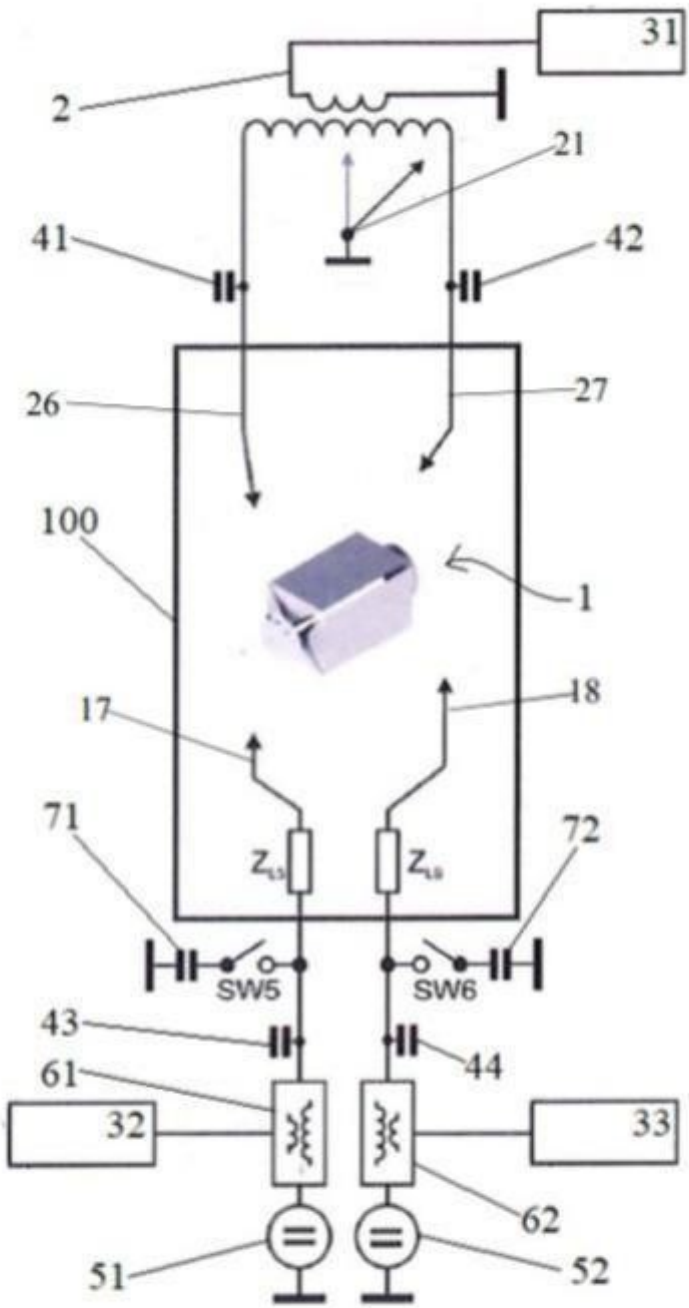
3 výkresy



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3