



УКРАЇНА

(19) UA (11) 32753 (13) A

(51) 6 H01J25/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ГАММА-ЛАЗЕР

(21) 98031372

(22) 18.03.1998

(24) 15.02.2001

(46) 15.02.2001, Бюл. №1, 2001р.

(72) Дзедолік Ігор Вікторович, Биков Олександр Михайлович

(73) Сімферопольський державний університет ім. М.В.Фрунзе

(57) Гамма-лазер, що містить електронну гармату, секцію прискорювання електронного пучка, фокусуючу магнітну систему, розвідну магнітну систему, розташовані послідовно по ходу елект-

ронного пучка, позитронну гармату, секцію прискорювання позитронного пучка, розташовані по ходу позитронного пучка, при цьому фокусуюча магнітна система та розвідна магнітна система розташовані з можливістю зведення та розведення електронного та позитронного пучків, який відрізняється тим, що додатково містить за розвідною магнітною системою кільцеву магнітну систему та антикатод для електронів, розташованих по ходу електронного пучка, і кільцеву магнітну систему для позитронів, розташовану по ходу позитронного пучка.

Винахід відноситься до релятивістської електроніки і може бути використаний як генератор когерентного гамма-випромінювання, що використовуються з технологічною та дослідницькою метою.

Відомий лазер на вільних електронах [Патент СРСР №1831963, 1992 г.], що містить електронну гармату, вхідну поворотну магнітну систему, секцію групування, секцію прискорювання та секцію відбору енергії електронів, вихідну поворотну магнітну систему, колектор електронів, розташовані по ходу електронного пучка, дзеркальний резонатор, розташований вздовж однієї осі з секціями групування, прискорювання та відбору енергії.

Недолік такого ЛВЕ - обмеження частоти когерентного випромінювання зоною м'якого рентгеновського діапазону.

Відомий генератор вузькоспрямованого гамма-випромінювання [Заявка на винахід № 93007018, 10.12.93, Україна, опублікований у офіційному бюлетені «Промислова власність».- 1995, вип.3-С.2.123], що містить електронну гармату, модулятор, секцію прискорювання електронного пучка, фокусуючу магнітну систему, поворотну магнітну систему, колектор електронів, розташовані послідовно по ходу електронного пучка, позитронну гармату, модулятор, секцію прискорювання позитронного пучка, колектор позитронів, розташовані послідовно по ходу позитронного пучка.

Недоліком такого генератора є складність юстирування при зведенні модульованих за щільністю електронного та позитронного пучків у просторі взаємодії генератора, а також відносно

великий розбіг швидкостей часток пучків після їх модуляції у радіочастотних модуляторах клістронного типу, що спричиняє некогерентність анігіляційного гамма-випромінювання.

В основу винаходу поставлено завдання створення гамма-лазера, що генерує когерентне гамма-випромінювання, що виникає при анігіляції електронно-позитронних пар, чия інтенсивність регулюється за допомогою керування струмами емісії електронів та позитронів.

Поставлене завдання вирішується таким чином, що гамма-лазер, що містить електронну гармату, секцію прискорювання електронного пучка, фокусуючу магнітну систему, розвідну магнітну систему, що розташовані послідовно по ходу електронного пучка, позитронну гармату, секцію прискорювання позитронного пучка, при цьому фокусуюча магнітна система і розвідна магнітна система розташовані з можливістю зведення і розведення електронного та позитронного пучків, згідно з винахом, додатково містить за розвідною магнітною системою кільцеву магнітну систему та антикатод для електронів, що розташовані по ходу електронного пучка, та кільцеву магнітну систему для позитронів, що розташована по ходу позитронного пучка. При такій конструкції позитрони, що не прореагували, спрямовуються у простір взаємодії на другий цикл, а рентгеновське випромінювання, що генерується при гальмуванні електронів на антикатоді, спрямовується проти руху електронного та позитронного пучків до простору взаємодії гамма-лазера.

Емітовані гарматою низькоенергетичні електронні та позитронні пучки прискорюються у відпо-

(13) A

(11) 32753

(19) UA

відних секціях прискорювання та зводяться фокусуною магнітною системою, у просторі взаємодії якої відбувається анігіляція електронно-позитронних пар. Анігіляційне випромінювання релятивістських часток спрямовано уперед по ходу пучків у вузький конус з кутом розхилу $1/\gamma$

(де $\gamma = E / m_0 c^2$ - середня безрозмірна енергія часток), що відбувається внаслідок закону збереження імпульсу системи

$$\vec{p}_- + \vec{p}_+ = \hbar \vec{k} + \hbar \vec{k}'$$

де $\vec{p}_- + \vec{p}_+$ - імпульси електрона та позит-

рона, $\hbar \vec{k}, \hbar \vec{k}'$ - імпульси гамма-квантів, при цьому швидкості руху часток та гамма-квантів близькі. Фотони рентгенівського випромінювання, що генерується при гальмуванні непрореагувавших електронів на антикатоді, рухаються проти руху гамма-квантів. При виконанні умов фазо-

$$\omega_\gamma (1 - \beta) = \omega_R (1 + \beta),$$

вого синхронізму де ω_γ - частота гамма-квантів, ω_R - частота рент-

генівських фотонів, $\beta = v/c = \sqrt{1 - \gamma^{-2}}$ - середня безрозмірна швидкість часток, електрони та позитрони будуть групуватись у згустки під впливом пондеромоторної сили - комбінаційної сили поля попутного гамма-випромінювання та зустрічного рентгенівського випромінювання. Величина пондеромоторної сили дорівнює

$$F = e^2 (k_\gamma + k_R) (2m\omega_\gamma \omega_R)^{-1} E_\gamma E_R \sin[(\omega_\gamma - \omega_R)t - (k_\gamma + k_R)z],$$

де e - заряд, m - маса частки, E_γ - напруженість електричного поля гамма-випромінювання, E_R - напруженість електричного поля рентгенівського випромінювання, t - час, z - поздовжня координата.

Згустки формуються поблизу нулів пондеромоторної сили з електронів та позитронів, таким чином збільшується щільність потоку анігілюючих часток, та, як наслідок цього, потужність анігіляційного випромінювання, що пропорційна квадрату числа пар електронів та позитронів, що прореагували.

Групування часток відбувається внаслідок їх прискорення або гальмування пондеромоторною силою. Додаткова швидкість, що виникає під впливом сили, дорівнює

$$v' = m^{-1} \int_{t_1}^{t_2} dt F,$$

т.ч. зміна частоти їх осциляції внаслідок ефекта Доплера визначається виразом

$$\omega'_\gamma = \omega_\gamma (1 \pm v'/c).$$

За рахунок набігу фаз коливань «швидко» та «повільно» осцилюючи електрони та позитрони зустрічаються у згустках у фазі осциляцій часток, що знаходяться у нулях пондеромоторної сили,

таким чином анігіляційне випромінювання стає когерентним.

Середня спектральна інтенсивність гамма-випромінювання визначається виразом

$$I(\omega_\gamma) = \langle |E(\omega_\gamma)|^2 \rangle = \Psi(\omega_\gamma)$$

$$[N(1 - S(\omega_\gamma)) + N^2 S(\omega_\gamma)],$$

де N - число пар анігілюючих електронів та позитронів.

Ступінь когерентності гамма-випромінювання визначається за допомогою фактора когерентності

$$S(\omega_\gamma) = \Phi(\omega_\gamma) / \Psi(\omega_\gamma),$$

$$\begin{aligned} \Phi(\omega_\gamma) &= \langle E_\gamma(\omega_\gamma, r_1, p_1) E^*(\omega_\gamma, r_2, p_2) \rangle = \\ &= 2\pi \hbar c k^{-1} \langle \exp(ick_{1z} z / v) \rangle^2 \langle \exp(ik_{1z} r_1) \rangle^2 = \\ &= \exp(-\kappa^2 k_{1z}^2) \exp(-l^2 k_{1z}^2 / \beta^2), \Psi(\omega_\gamma) \\ &= \langle |E_\gamma(\omega_\gamma, r_1, p_1)|^2 \rangle = 2\pi \hbar c k^{-1} \end{aligned}$$

де $\langle \rangle$ - усереднення по гауссовським функціям розподілення, κ - поперечний, l - поздовжній характерні розміри згустку пар електронів та позитронів, тобто при значенні $S(\omega_\gamma) = 1$ фактора когерентності гамма-лазер буде випромінювати повністю когерентне гамма-випромінювання.

Гамма-лазер містить (креслення) електронну гармату 1, секцію прискорювання електронного пучка 2, що розташовані вздовж однієї осі по ходу електронного пучка, позитронну гармату 3, вісь якої розташована під кутом $1/\gamma$ до осі електронної гармати 1, секцію прискорювання позитронного пучка 4, що розташовані вздовж однієї осі по ходу позитронного пучка, фокусууючу магнітну систему 5, що розташована по ходу пучків та звідні електронний та позитронний пучки, розвідну магнітну систему 6, що розташована вздовж однієї осі з фокусууючою системою 5 та розвідні електронний та позитронний пучки, кільцеву магнітну систему 7, антикатод 8, що розташовані по ходу електронного пучка, кільцеву магнітну систему 9, що розташована по ходу позитронного пучка.

Гамма-лазер працює таким чином. Низькоенергетичний електронний пучок, емітований електронною гарматою 1 та низькоенергетичний позитронний пучок, емітований позитронною гарматою 3, інjektуються у секції прискорювання 2 та 4 відповідно, в яких відбувається прискорювання електронного та позитронного пучків вихровим електричним полем до релятивістських значень енергії часток. Далі електронний та позитронний пучки зводяться фокусууючою магнітною системою 5, де відбувається анігіляція електронно-позитронного пару і взаємодія часток з фотонним полем рентгенівського діапазону, яке спрямовано у простір взаємодії проти руху електронного та позитронного пучків у фокусууючій магнітній системі 5. Непрореаговані електрони та позитрони розводяться розвідною магнітною системою 6, розвертаються на 180 градусів проти їх першоначального руху та спрямовуються на антикатод 8 кільцевою магнітною системою 7, на якому гальмують та випромінюють рентгенівське випромінювання, а позитрони - кільцевою магнітною системою 9 спрямовуються вдруге у

простору взаємодії фокуруючої магнітної системи 5. Керування інтенсивністю гамма-випромінювання відбувається за допомогою збільшення струму емісії електронів та позитронів.

Пристрій може бути реалізований за допомогою елементів, розташованих по ходу електронного та позитронного пучків, наприклад [Бахрушин Ю.П., Анацкий А. И. Линейные индукционные ускорители/ М.: Атомиздат, 1978. С.1 1 -19], а позитронна гармата - наприклад [Кейн Г. Современная физика элементарных частиц/М.: Мир, 1990. С. 176].

При значенні безрозмірної енергії електронів та позитронів $\gamma=2$ довжина хвилі гальмівного

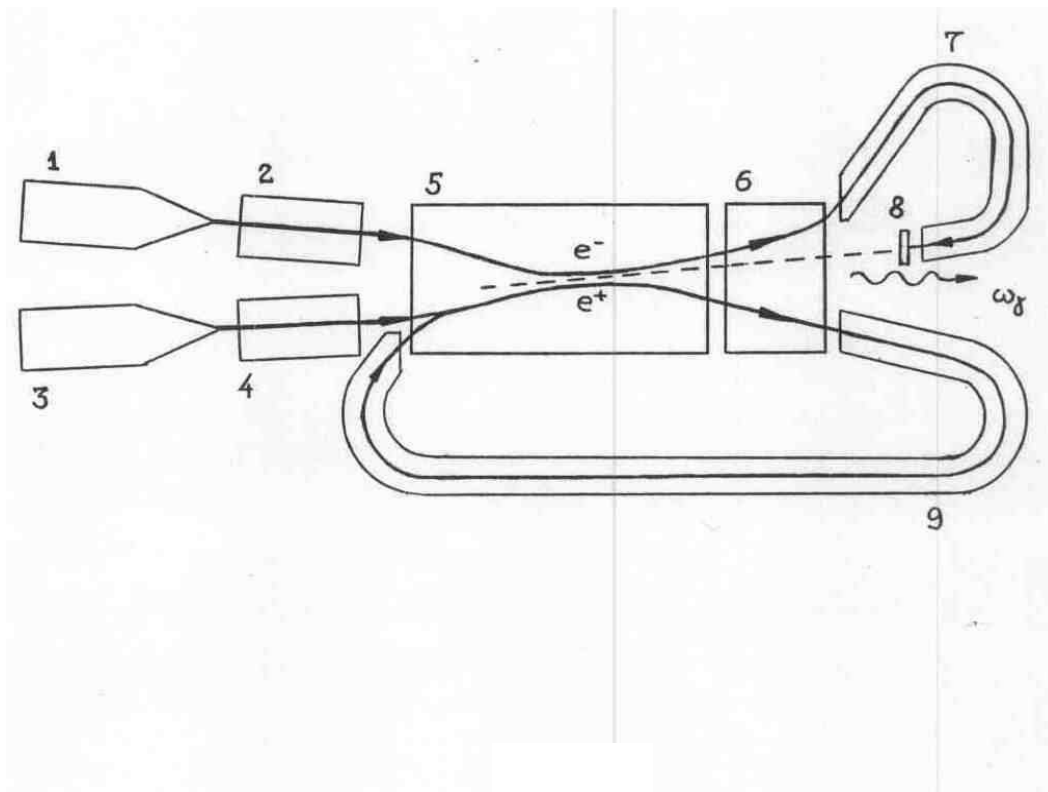
рентгенівського випромінювання дорівнює

$$\lambda_R = h\nu / m_0 c^2 \gamma = 1.24 \cdot 10^{-10} \text{ cm},$$

а довжина хвилі гамма-випромінювання, що задовольняє умовам фазового синхронізму, дорівнює

$$\lambda_\gamma = \lambda_R / 4\gamma^2 = 116 \cdot 10^{-12} \text{ cm}$$

При цьому випромінювання повністю когерентне $S(\omega_\gamma)=1$, якщо поперечний розмір потоку, сформованого при зведенні електронного та позитронного пучків, дорівнює $k=10^{-12}$ см, та збільшення поперечного розміру потоку до значення $k=10^{-9}$ см призводить до зниження ступені когерентності випромінювання на 50%.



ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Бульв. Лесі Українки, 26, Київ, 01133, Україна
(044) 254-42-30, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид.арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ
Вул. Горького, 180, Київ, 03680 МСП, Україна
(044) 268-25-22