СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1074258 A

4(51) G 01 T 1/29; G 01 T 7/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ВСЕСОЮЗНАЯ ПАТЕНТНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА 13

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

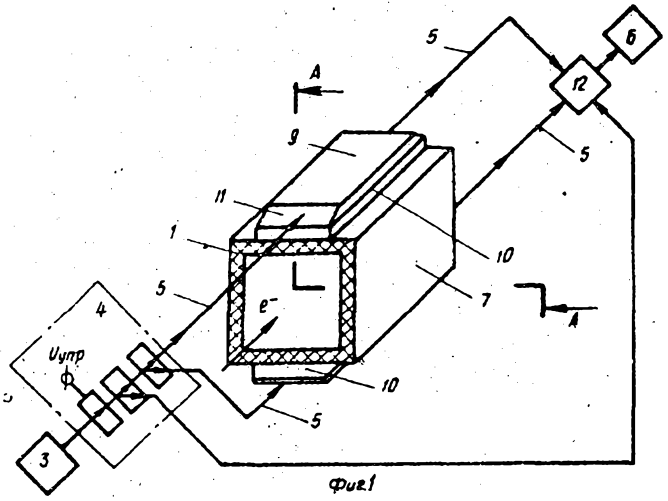
К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 3476139/18-25
(22) 26.07.82
(46) 15.02.85. Бюл. № 6
(72) Ю.С. Павлов
(71) Институт медико-биологических проблем
(53) 621.387.424(088.8)
(56) 1. Fischer R , Rossmanith R. Measurement of Bunch-length by a mode-locked laser with a time resolution of 10 picoseconda "IEEE Trans Nucl. Sci", 1973, № 3-20, № 3, p. 549-551.

2. Аксенов О.Ю. Система диагностики пучка протонов по ондуляторному излучению. - Труды радиотехнического института. М., АН СССР, 1980, № 39, с. 49-55.

3. Авторское свидетельство СССР по заявке № 2884907, кл. G 01 T 1/29, 1980 (прототип).

(54)(57) 1. ДАТЧИК ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КОРПУСКУЛЯРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, содержащий помещенный в металлический корпус преобразователь, чувствительный к электромагнитному излучению от пучка заряженных частиц, источник светового излучения, систему передачи и регистрации светового излучения, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью повышения временного разрешения, чувствительности и точности, преобразователь выполнен в виде керамической тонкостенной трубы прямоугольного сечения с металлизированными торцами, а система передачи светового излучения выполнена в виде двух полупроводниковых тонкопленочных световодов, установленных с подложкой в виде окисного слоя на диаметрально противоположных поверхностях трубы параллельно оси и изолированных от корпуса датчика, и двух передающих волоконных световодов, сочлененных с полупроводниковыми тонкопленочными световодами оптическим элементом.



Фиг1

(19) SU (11) 1074258 A

2. Датчик по п. 1, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что в качестве оптического элемента использованы кварцевые призмы.

3. Датчик по п. 1, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что в качестве оптического элемента использованы дифракционные решетки.

1

Предлагаемое изобретение относится к технической физике, в частности к измерению корпускулярных излучений, и может быть использовано в ускорительной технике, физике высоких энергий и элементарных частиц, физике сильноточных электронных пучков для измерения параметров пучков заряженных частиц.

Известен датчик для регистрации синхронного излучения, который состоит из фотоэлектронного умножителя, канала передачи излучения и схемы регистрации оптического изображения. Синхротронное излучение возникает только при движении электронов по криволинейным траекториям и используется для диагностики пучка в основном на синхротронах и накопительных кольцах. Поэтому синхротронный датчик нельзя использовать для измерений параметров пучка на прямолинейных участках в линейных ускорителях, что является недостатком. Кроме того, недостатком датчика является то, что интенсивность синхротронного излучения ионов при движении по криволинейным траекториям чрезвычайно мала и практически не может быть зарегистрирована современными приборами [1].

Известен также датчик для регистрации параметров пучка на основе получения ондуляторного излучения. Он достаточно чувствителен и обладает высоким временным разрешением [2]. Недостаток датчика связан с потерей значительной части пучка в измерительном электромагните, называемом "виглером", и внесением возмущений в исследуемый пучок на выходе измерителя, что снижает точность измерений. Кроме того, устройство для получения ондуляторного излучения имеет большие размеры и поэтому не может использоваться для измерений

2

в процессе формирования, что также является недостатком датчика.

Наиболее близким к изобретению является магнитооптический датчик для регистрации корпускулярного излучения, например, параметров пучка заряженных частиц, содержащий помещенный в металлический корпус преобразователь, чувствительный к электромагнитному излучению от пучка заряженных частиц, источник светового излучения, систему передачи и регистрации светового излучения [3].

Недостатком устройства является его сравнительно большая инерционность из-за медленного нарастания магнитной индукции в тороиде, а также недостаточная чувствительность. Кроме того, в устройстве имеются потери света из-за несовершенства устройства ввода и вывода света из кристаллов, а также недостаточно точной юстировки кристаллографической оси кристалла с направлением распространения света, что приводит к снижению точности измерений. Наличие в схеме поляризатора и анализатора для регистрации величины поворота плоскости поляризации приводит к дополнительным потерям света и снижению чувствительности датчика.

Целью изобретения является повышение временного разрешения, чувствительности и точности.

Поставленная цель достигается тем, что в датчике для регистрации корпускулярного излучения, содержащем помещенный в металлический корпус преобразователь, чувствительный к электромагнитному излучению от пучка заряженных частиц, источник светового излучения, систему передачи и регистрации светового излучения, преобразователь выполнен в виде керамической тонкостенной трубы

прямоугольного сечения с металлизированными торцами, а система передачи светового излучения выполнена в виде двух полупроводниковых тонкопленочных световодов, установленных с подложкой в виде окисного слоя на диаметрально противоположных поверхностях трубы параллельно оси и изолированных от корпуса датчика, и двух передающих волоконных световодов, сочлененных с полупроводниковыми тонкопленочными световодами оптическим элементом. В качестве оптического элемента можно использовать кварцевые призмы либо дифференционные решетки.

На фиг. 1 изображен предлагаемый датчик; на фиг. 2 - разрез А-А на фиг. 1.

Датчик содержит помещенный в металлический корпус 1 преобразователь, чувствительный к электромагнитному полю от пучка заряженных частиц, выходящих из ускорителя 2. От источника светового излучения 3 свет с помощью системы передачи 4 направляется по волоконным световодам 5 в преобразователь. В преобразователе происходит модуляция интенсивности светового излучения, характеристики которого измеряются оптической системой регистрации 6. Преобразователь выполнен в виде керамической тонкостенной прямоугольного сечения трубы 7 с металлизированными фланцами 8 на торцах.

Система передачи светового излучения выполнена в виде двух полупроводниковых тонкопленочных световодов 9, установленных с подложкой в виде окисного слоя 10 на диаметрально противоположных поверхностях трубы 7 параллельно оси и изолированных от корпуса датчика и двух передающих волоконных световодов 5, сочлененных оптически с полупроводниковыми тонкопленочными световодами 9 оптическим элементом. В качестве оптического элемента использованы кварцевые призмы 11. В случае волоконных световодов 5 с низким показателем преломления и полупроводниковым тонкопленочным световодом 9 из материала с высоким показателем преломления оптическую связь между ними желательно осуществить через дифракционные решетки. Для сравнения интенсивностей света на выходе двух полупроводниковых световодов служит схема 12 сравнения интенсивностей света. Изолятор 13 установлен между световодом и корпусом датчика.

Датчик работает следующим образом.

Световое излучение от лазера 3 пропускается по полупроводниковым тонкопленочным световодам, расположенным параллельно направлению исследуемого пучка заряженных частиц. От пучка возникает электрическое поле, под воздействием которого происходит модуляция интенсивности света, проходящего через полупроводниковые световоды, причем величина модуляции света определяется амплитудой напряженности электрического поля, которая зависит от тока и положения пучка, поэтому с помощью фотохронографа по величине интенсивности света на выходе полупроводникового световода регистрируют параметры исследуемого пучка. Величина смещения положения пучка определяется путем сравнения интенсивностей света на выходах двух световодов.

Часть света, прошедшую через полупроводниковый тонкопленочный световод, помещенный в электрическое поле пучка, определяется по формуле

$$I_{прош} = I_0 e^{-k\ell}, \quad (1)$$

где I_0 - интенсивность света лазера на входе в полупроводниковый световод;

k - коэффициент поглощения света в полупроводниковом световоде;

ℓ - длина полупроводникового световода.

Так, например, при $\ell = 4$ см, $I_0 = 1$ Вт, $k = 10$ $I_{прош} = 4{,}2 \cdot 10^{-18}$ Вт.

Такие оптические измерения удобнее всего проводить с помощью электронно-оптических фотохронографов, например камеры "Агат-04М", которая имеет временное разрешение до $3 \cdot 10^{-13}$ с при облученности входного фотокатода на длине волны 1,06 мкм - $7 \cdot 10^{-3}$ Вт/мм^2.

Величина коэффициента поглощения света в полупроводниковом световоде, помещенном в электрическое поле, определяется сдвигом границы межзонного поглощения полупроводника в длинноволновую область на основании эффекта Франка-Келдыша. В случае помещения полупроводникового тонко-

пленочного световода параллельно пучку на расстоянии R при $R_0 < R < \ell'$ (где R_0 – радиус пучка, ℓ' – длина импульса пучка заряженных частиц), коэффициент поглощения можно определить по формуле (при $\hbar\omega < W_A$).

$$k = \exp\left\{-\frac{8\pi R\varepsilon\varepsilon\sqrt{2m^*}}{3e\hbar\rho}(W_A - \hbar\omega)^{3/2}\right\} \quad (2)$$

где ω – частота светового излучения из лазера;

W_A – ширина заряженной зоны полупроводникового тонкопленочного световода;

m^* – изотропная эффективная масса носителей в полупроводнике;

$\hbar$ – постоянная планка ($\hbar = 1{,}05\cdot10^{-34}$ Дж/Гц);

ε – относительная диэлектрическая проницаемость материала полупроводникового световода;

ε_0 – электрическая постоянная ($\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Кл^2/Н м^2);

ℓ – заряд электрона ($1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл);

R – расстояние от пучка до полупроводникового тонкопленочного световода;

ρ – линейная плотность заряда в пучке заряженных частиц, движущихся по оси датчика.

Коэффициент межзонного поглощения не обращается в нуль для энергии фотонов, меньшей ширины запрещенной зоны, т.е. $\hbar\omega < W_A$. Смещение полосы поглощения будет тем больше, чем меньше эффективная масса носителей m^* в полупроводнике.

Поэтому выбираем в качестве материала световода арсенид галлия GaAs и пропускаем через него излучение в инфракрасной области ($\lambda > 0{,}8$ мкм).

Для полупроводникового тонкопленочного световода GaAs – $W_A = 1{,}45$ эВ; $\varepsilon = 12{,}5$; $m^* = 0{,}072\ m_e$ (где m_e – масса электрона; $m_e = 0{,}91\cdot10^{-30}$кг). Так, например, для GaAs в области длин волн 0,8–1,2 мкм приложение электрического поля вызывает значительное увеличение коэффициента поглощения (до $\cdot10^4$ см$^{-1}$).

Пусть, например, полупроводниковый световод установлен параллельно на расстоянии 4 см от оси датчика, а через световод пропускается свет с длиной волны $\lambda = 0{,}88$ мкм. По оси датчика проходит импульсный пучок электронов диаметром 1 см, с энергией $W_e = 0{,}6$ МэВ, током $I_n = 10$ кА, длительностью $\tau = 30$ нм. В этом случае линейная плотность заряда пучка составляет величину = $3{,}7\cdot10^{-5}$ Кл/м, а напряженность поля от пучка на расстоянии 4 см будет равна $E = 1{,}33\cdot10^6$ В/м. Тогда в момент прохождения импульса и при увеличении тока пучка до 10 кА коэффициент поглощения возрастает до 100 см$^{-1}$. Таким образом, в момент прохождения пучка через датчик световое излучение практически полностью поглощается в полупроводниковом преобразователе.

Следовательно, регистрация параметров пучка заряженных частиц сводится к регистрации характеристик светового излучения на выходе полупроводникового световода. На полученной фоторегистограмме будет зафиксирована форма импульса, длительность фронта и среза, период повторения сгустков в микроструктуре импульса, амплитуда сгустков и другие параметры.

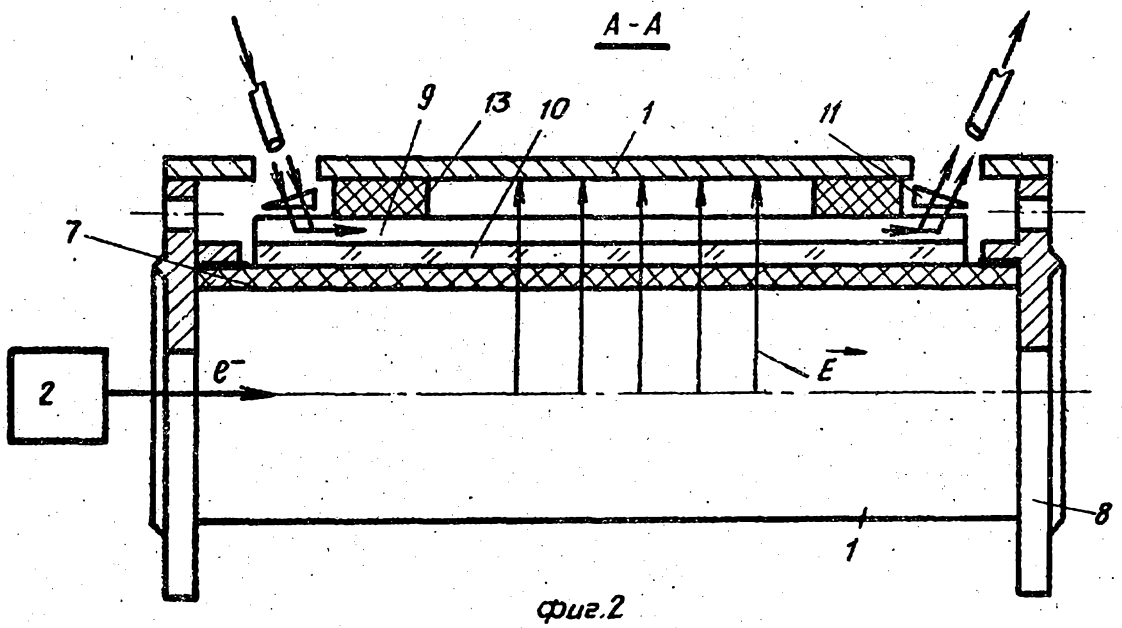
Положительный эффект от применения модуляционно-оптического датчика заключается в полном отсутствии возмущений и потерь в исследуемом пучке, что позволяет увеличить точность измерений. Увеличение временного разрешения достигается за счет использования модуляции света безынерционного полевого эффекта Франца-Келдыша (время нарастания сигнала в преобразовании менее 10^{-13}с). Схема датчика содержит только оптически связанные тонкопленочные и волоконные световоды и не содержит дополнительных оптических анализаторов и поляризаторов, что делает схему практически прозрачной для анализируемого светового излучения и, следовательно, увеличивается чувствительность датчика.

Используемый в датчике оптический полупроводниковый тонкопленочный световод из арсенида галлия имеет затухание 3 дБ/см на длине волны $\lambda = 1{,}06$ мкм. Световод выполнен на монокристалле n^+-типа с нанесенной на него пленкой двуокиси кремния толщиной около 0,3 мкм. На окисную пленку после вытравливания в ней прямоугольного отверстия методом

химического осаждения из паровой фазы наносится монокристаллический слой GaAs n^--типа. При этом рост пленки начинается в вытравленном окне, после чего она наращивается поверх окисной пленки. В верхнем эпитаксиальном слое по стандартной технологии вытравливается гребенчатая структура световода высотой 0,5 мкм и толщиной 6 мкм. Нижний стенкой световода, ограничивающей распространение света, является скрытый слой двуокиси кремния, верхней и боковыми - поверхность раздела арсенид галлия - воздух.

Связь между передающим волоконным световодом с низким показателем преломления (для кварца n = 1,54) и полупроводниковым тонкопленочным световодом из материала с высоким показателем преломления (для арсенида галлия n = 3,34) желательно осуществить на основе использования спадающих волновых полей, которые перекрываются в области, содержащей фазовую дифракционную решетку, являющуюся фазосогласующим элементом, т.е. с помощью дифракционных решеток. Эффективная апертура связи может быть выбрана с учетом уменьшения дифракционного расхождения пучка в пленке. Эффективность ввода излучения более 86% при использовании обратноволновых решеток с повышенным отражением.

Кроме использования арсенида галлия для изготовления полупроводникового тонкопленочного световода, перспективно применение гетероэпитаксиальных структур типа $GaAs/Al_xGa_{1-x}/n^+-GaP$, которые работают при малых напряженностях электрических полей в широком диапазоне частот, обеспечивают жесткость конструкции и хороший теплоотвод.



Фиг.2

Редактор С. Титова Техред О.Неце Корректор И. Эрдейи

Заказ 314/2 Тираж 748 Подписное
ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4