



Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

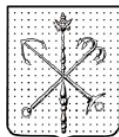
XXVII Международная научная конференция

ВОЛНОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ



Сборник статей
Часть 3

3–7 июня 2024 г.
Санкт-Петербург



Санкт-Петербург, Россия
2024

УДК 621.38
ББК 32.85
В67

В67 Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: XXVII
Междунар. науч. конф. (СПб., 3–7 июня 2024 г.): сб. статей: в 3 ч. Ч. 3. –
СПб.: ГУАП, 2024. – 329 с.
ISBN 978-5-8088-1935-1
ISBN 978-5-8088-1938-2 (Ч. 3)

Материалы XXVII Международной научной конференции отражают современное состояние волновой электроники и ее применение в информационных и телекоммуникационных системах.

Представляют интерес для широкого круга исследователей, преподавателей, аспирантов и специалистов в области акустооптики, акустоэлектроники.

УДК 621.38
ББК 32.85

ISBN 978-5-8088-1935-1
ISBN 978-5-8088-1938-2 (Ч. 3)

© Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического
приборостроения, 2024

УДК 535.36:534.23

П. А. Никитин***

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

*Научно-технологический центр уникального приборостроения

Российской академии наук

**Национальный исследовательский университет

«Московский энергетический институт»

АКУСТООПТИЧЕСКАЯ ДИФРАКЦИЯ ТЕРАГЕРЦЕВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕКЦИОНИРОВАННОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ УЛЬТРАЗВУКА

Для увеличения рабочей полосы частот акустооптического дефлектора предложено использовать секционированный излучатель ультразвука с шириной зазора между секциями в 20% от длины секции. Выполнен цикл экспериментов по исследованию акустооптической дифракции терагерцевого излучения с таким излучателем. Установлено, что при синфазной подаче сигнала на соседние секции излучателя рабочая полоса частот ультразвука увеличилась в 1,5 раза по сравнению с несекционированным излучателем, а рабочий диапазон углов падения излучения увеличился в 2 раза, при этом эффективность дифракции уменьшилась на 20%. Использование противофазного режима подачи сигнала на соседние секции позволило увеличить эффективность дифракции в 2 раза по сравнению с синфазным режимом, тогда как рабочая полоса углов падения излучения не изменилась.

Ключевые слова: акустооптика, секционированный излучатель, дифракция, дефлектор.

Работа выполнена в рамках гос. задания № FFNS-2022-0009 с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием ИТЦ УП РАН.

Р. А. Nikitin***

PhD, Phys.-Math., Senior Research Employee

* Scientific and Technological Center of Unique Instrumentation of the Russian Academy of Sciences

** National Research University "Moscow Power Engineering Institute"

ACOUSTO-OPTIC DIFFRACTION OF TERAHERTZ RADIATION WITH THE USE OF THE SECTIONED ULTRASOUND TRANSDUCER

To increase the operating frequency bandwidth of the acousto-optic deflector, it is proposed to use a sectioned ultrasound transducer with a gap width between the sections of 20% of the section length. A series of experiments to investigate the acousto-optic diffraction of terahertz radiation with such a transducer was performed. It was found that at in-phase signal feeding to the neighboring sections of the transducer the operating frequency bandwidth of ultrasound increased 1.5 times in comparison with the non-sectioned transducer, and the operating range of angles of incidence of the radiation increased 2 times, while the diffraction efficiency decreased by 20%. The use of the antiphase mode of signal supply to the neighboring sections allowed to increase the diffraction efficiency by 2 times in comparison with the in-phase mode, while the operating range of radiation incidence angles did not change.

Keywords: acousto-optics, sectioned transducer, diffraction, deflector.

Введение

В представленной работе рассмотрена проблема разработки эффективно-го акустооптического (АО) дефлектора терагерцевого (ТГц) излучения. Указанный спектральный диапазон является очень перспективным с точки зрения передачи информации. Однако к настоящему времени устройств, работающих в ТГц диапазоне и обладающих высоким быстродействием, очень мало. Одним из хорошо зарекомендовавших себя методов является АО дифракция, т. е. отклонение и модуляция пучка излучения с помощью ультразвука. В ТГц диапазоне в качестве среды АО взаимодействия используется сжиженный гексафторид серы (SF_6), который за счет рекордно низкой скорости звука ($V \approx 300$ м/с) характеризуется самым высоким значением коэффициента АО качества $M_2 \approx 15000 \cdot 10^{-15}$ с³/кг, что на порядок больше, чем у парателлурита (TeO_2) [1]. Сжиженный гексафторид серы является оптически средой, и поэтому характеристики АО дефлектора на его основе будут очень посредственными. Тем не менее значительных результатов можно добиться за счет использования секционированного фазированного излучателя ультразвука. Основная идея заключается в том, чтобы волновой фронт ультразвукового пучка поворачивался с изменением частоты. Наиболее простым технологическим решением является противофазная ($\Phi = \pi$) подача управляющего электрического сигнала на соседние секции излучателя. Согласно расчетам, это позволит увеличить число разрешенных световых элементов АО дефлектора в несколько раз [2].

В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования основных параметров АО дефлектора ТГц излучения, использующего секционированный фазированный излучатель ультразвука.

Модель акустооптического взаимодействия

Фазированный излучатель ультразвука вследствие периодической структуры излучает не один, а два звуковых пучка, которые распространяются симметрично под небольшим углом к нормали к поверхности излучателя. На рис. 1 приведена диаграмма АО взаимодействия, где K – волной вектор ультразвука, а k_0 и k_1 – волновые вектора прошедшего и дифрагированного излучения.

Важно отметить, что, как следует из рис. 1, АО дифракция будет происходить только на одном из двух звуковых пучков, а дифрагированное излучение будет распространяться вдоль плоскости излучателя ультразвука. Кроме этого, излучение должно заводиться в АО ячейку под другим углом, который равен удвоенному углу Брэгга для синфазного излучателя ультразвука.

Центральная частота АО дефлектора определяется следующей формулой [3]:

$$F_d = V \sqrt{m \frac{n}{\lambda L}}, \quad (1)$$

где m – число секций излучателя; λ – длина волны излучения; n – показатель преломления; L – полная длина излучателя.

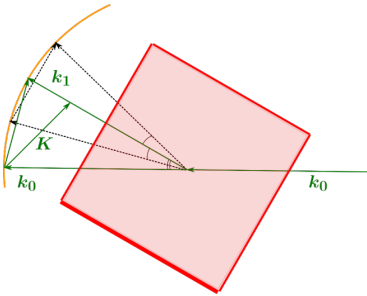


Рис. 1. Диаграмма АО дифракции излучения при использовании секционированного фазированного излучателя ультразвука: пунктир соответствует синфазному включению секций, а сплошные линии – противофазному

Поскольку гексафторид серы характеризуется сильным затуханием ультразвука, то использование частот более 1 МГц является нецелесообразным. Поэтому численные оценки были сделаны для частоты 300 кГц, при которой ранее проводились экспериментальные исследования. Как следует из формулы (2), чтобы эта частота соответствовала центральной частоте АО дефлектора, излучатель с длиной $L = 8$ см нужно разбить на $m = 10$ секций.

В работе [3] показано, что частотная характеристика АО дефлектора существенно зависит от угла θ_0 падения излучения, а наибольшей рабочей полосы частот ультразвука можно добиться только при одном оптимальном угле $\theta_0 = \theta_d$ относительно плоскости излучателя:

$$\theta_d = \sqrt{m \frac{\lambda}{nL}}. \quad (2)$$

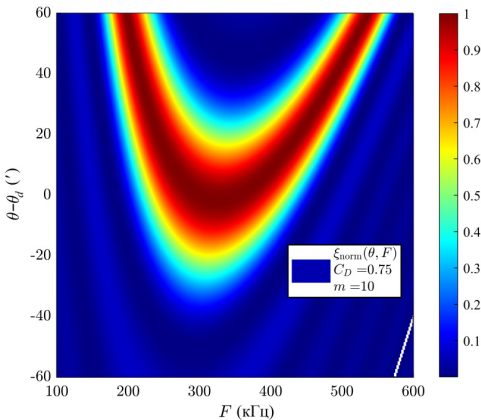


Рис. 3. Зависимость нормированной эффективности АО дифракции от частоты ультразвука и угла падения излучения

Для оценки рабочего диапазона угла падения излучения, а также диапазона частот ультразвука, была рассчитана зависимость нормированной эффективности дифракции ξ от отклонения угла падения излучения от оптимального внутри АО ячейки, а также от частоты ультразвука (рис. 3).

Как видно из рис. 3, точность юстировки должна составлять около $20'$, что является приемлемым для реализации в эксперименте.

Результаты и обсуждение

Экспериментальное исследование было выполнено с использованием ТГц излучения Новосибирского лазера на свободных электронах с длиной волны $\lambda = 130,6$ мкм. В качестве излучателя ультразвука использовалась пьезокерамическая пластина шириной 14 мм и длиной $L=80$ мм, тогда как ширина электрода составляла лишь $d = 12$ мм. Электрод на каждой грани был разделен на 10 симметричных секций с зазором 2 мм между ними. Работа АО дефлектора была исследована в двух режимах: при синфазном и при противофазном включении секций.

Результаты экспериментов сведены в табл. 1, и для наглядности в ней приведены данные по аналогичным исследованиям с аналогичным несекционированным излучателем ультразвука (габариты, а также длина и ширина электрода те же, что и у секционированного излучателя).

Таблица 1

Основные параметры АО дефлектора ТГц излучения

Параметр	$\Phi = \pi, m = 10, C_D = 0,8$	$\Phi = 0, m = 10, C_D = 0,8$	$\Phi = 0, m = 1$
F (кГц)	170 ± 1	302 ± 4	$313,6 \pm 1,4$
ξ (%Вт)	0,11	$0,062 \pm 0,005$	$0,08 \pm 0,01$
$\Delta\theta$ (°)	1,5	$1,28 \pm 0,03$	$0,64 \pm 0,03$
ΔF (кГц)	—	52 ± 11	35 ± 4

При синфазном включении секций достигнутая эффективность дифракции на 20% меньше, чем для несекционированного излучателя, что можно объяснить уменьшением длины электрода из-за наличия зазоров между секциями. Однако диапазон углов увеличился в 2 раза, что можно объяснить только более сложным акустическим полем, обусловленным в том числе тем, что каждая секция представляет собой толстую пластину 8×14 мм и толщиной 6 мм. При противофазном включении секций ожидалось уменьшение эффективности АО дифракции в 2 раза, в то время как в эксперименте она, наоборот, возросла в 2 раза.

Заключение

Выполненное исследование показало, что использование секционированного излучателя ультразвука является целесообразным для АО дефлектора ТГц излучения. В дальнейшем планируется провести эксперимент на оптимальной частоте ультразвука и уточнить значение рабочей полосы частот.

Библиографический список

1. Durr W. Acousto-optic interaction in gases and liquid bases in the far infrared // *Int. J. of Infrared and Millim. Waves*. 1986. V. 7, № 10. P. 1537–1558.
2. Acousto-optic cells with phased-array transducers and their application in systems of optical information processing / V. Balakshy [et al.] // *Materials*. 2021. V. 14, № 2. Art.n. 451.
3. Nikitin P. A. Simulation of an acousto-optic deflector of terahertz radiation based on a sectioned ultrasound transducer // *Journal of Optical Technology*. 2023. Vol. 90, № 2. P. 88–92.