

07

## Монокристалльные модификации электрооптического модулятора Маха—Цендера

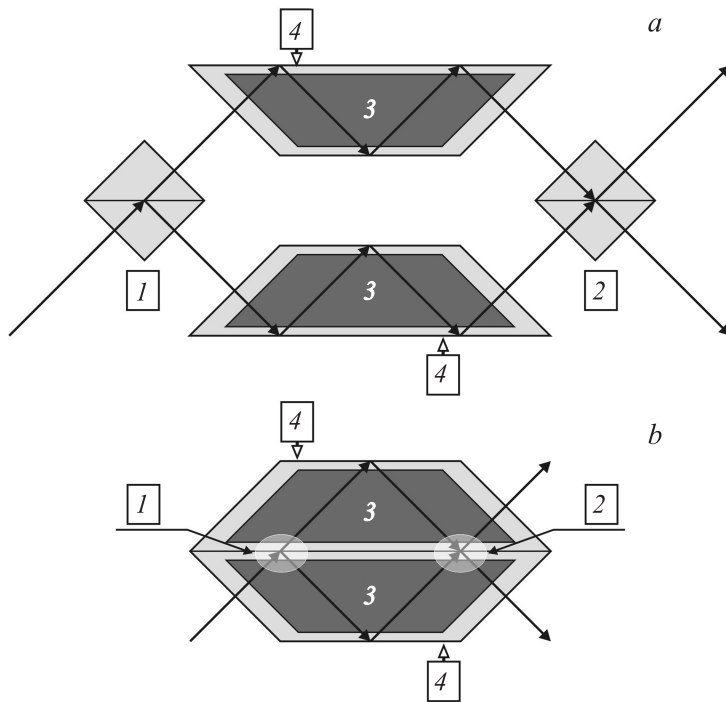
© Д.Р. Древки, Ю.А. Зюрюкин, Н.М. Ушаков

Саратовский государственный технический университет  
E-mail: dmdrevko@gmail.com

Поступило в Редакцию 23 июня 2010 г.

Описаны две монокристалльные модификации электрооптического модулятора Маха—Цендера. По предварительным теоретическим оценкам данные модификации способны осуществлять амплитудную модуляцию лазерных пучков повышенной мощности, не менее единиц ватт, с частотой до 4 GHz. Представлены модуляционные характеристики, из которых видно, что глубина модуляции исследуемых модификаций электрооптического модулятора Маха—Цендера достигает порядка 50–80% и полуволновое напряжение данных модификаций электрооптического модулятора составляет 100–160 V.

В работах [1–4] описаны существующие на настоящий момент два вида электрооптических модуляторов. В первом случае речь идет о модуляторах на продольном и/или поперечном электрическом поле, а во втором — о планарных модуляторах Маха—Цендера, являющихся продуктом интегральной оптики. Приведенные виды модуляторов неплохо справляются с задачей амплитудной модуляции световых пучков, но имеют один общий недостаток — неспособность по ряду причин модулировать лазерное излучение большой мощности, в первом случае из-за наличия в схеме поляризаторов, которые имеют сильное поглощение, что приведет к выгоранию при прохождении лазерного пучка мощностью не более порядка  $10^{-1}$  W. Во втором случае решающим не в пользу высоких мощностей является фактор волноводного распространения света и соответственно больших плотностей мощности световой энергии. Предельным значением в данном случае будет величина плотности мощности светового потока, приблизительно равная  $10 \text{ MW/m}^2$  [5], что соответствует мощности исходного лазерного пучка в лучшем случае порядка  $10^{-2}$ – $10^{-1}$  W, при диаметре волновода 1– $10 \mu\text{m}$ .



**Рис. 1.** Схемы монокристалльных модификаций модулятора Маха–Цендера: 1 — делитель исходного светового пучка, 2 — соединитель световых пучков на выходе модулятора, 3 — электроды, 4 — электрооптические элементы; *a* — модификация с раздельной компоновкой элементов модулятора; *b* — монолитная модификация.

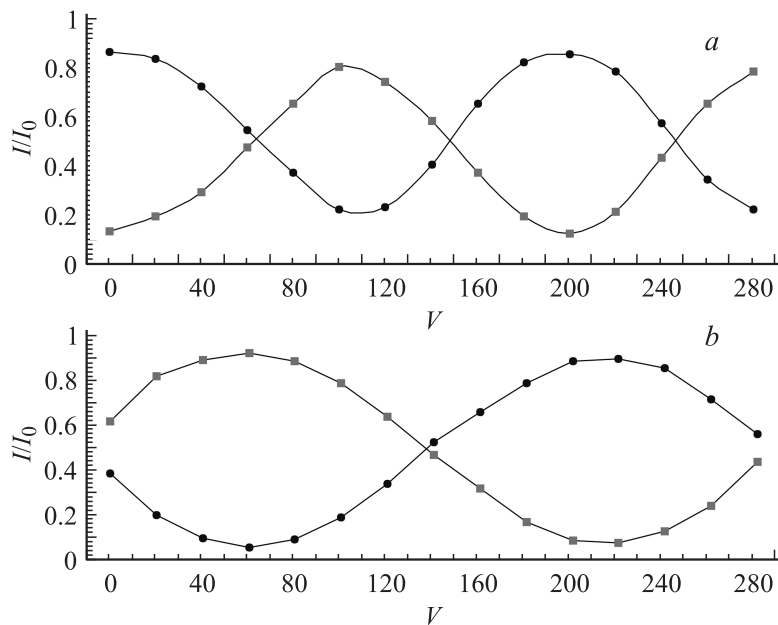
В данной статье авторы предлагают к рассмотрению две модификации электрооптического модулятора Маха–Цендера, способные решить проблему амплитудного управления лазерным излучением повышенной мощности [6]. Как видно из рис. 1, рассматриваемые модификации различаются тем, что модулятор, выполненный по схеме, отраженной на рис. 1, *a*, представляет собой модификацию с раздельной компоновкой элементов модулятора, а схема на рис. 1, *b* представляет собой монолитную конструкцию. В связи с такими отличиями по-разному

выполнены делители и соединители световых пучков. В первом случае делителем и соединителем лазерных пучков являются светоделительные кубики. Во втором случае делительный и соединительный элементы представляют собой одно целое со всеми остальными элементами модулятора; и они, как видно из рисунка, как бы интегрированы в зону сопряжения электрооптических элементов. Деление и соединение световых пучков в случае рассматриваемых модификаций модулятора Маха—Цендера происходит в условиях эффекта нарушенного полного внутреннего отражения на тонком диэлектрическом зазоре, роль которого исполняет оптический клей [7]. Выбор деления световых пучков таким способом объясняется следующим: при создании экспериментальных моделей по рассматриваемым схемам было обнаружено, что широко распространенные методы лазерных пучков не подходят. Оптические делительные элементы, делящие на металлической пленке, не удовлетворяют запросам по способности выдерживать лазерное излучение высокой мощности в связи с большим коэффициентом поглощения металла, что приведет к разрушению пленки. А многослойные диэлектрические пленки делят неполяризованный лазерный пучок на два с ортогональными плоскостями линейной поляризации, что тоже недопустимо, потому что разрабатываемые модификации включают в оптически анизотропные кристаллы, в которых имеет принципиальное значение положение плоскости поляризации распространяющихся в них пучков лазерного излучения. Электрооптические элементы, размещенные в плечах модулятора, выполнены в виде уплощенных призм из монокристаллического материала, обладающего сильным линейным электрооптическим эффектом, например ниобата лития, бастрона и др. Основания и две боковые грани каждой из призм расположены в параллельных плоскостях, при этом основания призм представляют собой прямоугольную трапецию. Боковые грани призм содержат просветленные области для входа и выхода пучков света. Из рис. 1 видно, что в электрооптических элементах (ЭОЭ) световые пучки распространяются не прямолинейно, а по ломаной траектории, многократно отражаясь от граней ЭОЭ в условиях эффекта полного внутреннего отражения. В таких ЭОЭ свет имеет пучковый характер распространения, ограниченный по апертуре только геометрическими размерами входной и выходной граней, что приводит к значительно меньшим плотностям световой мощности в отличие от интегральной

оптики. Конфигурация электрооптических элементов общая для обеих рассматриваемых модификаций.

Принцип работы описываемых модификаций электрооптического модулятора Маха–Цендера для обеих схем заключается в следующем. Исходный монохроматический световой поток попадает на делитель светового потока и делится на два одинаковых по интенсивности пучка. Затем эти два пучка попадают в электрооптические элементы, в которых при подаче на электроды управляющего напряжения происходит изменение показателя преломления за счет поперечного эффекта Поккельса. Благодаря этому один из световых пучков „замедляется“, а другой „ускоряется“, и они приобретают взаимную разность фаз, максимальная величина которой достигает  $\pi$  rad. В ходе распространения световых пучков в электрооптических элементах направление их движения корректируется с помощью отражающих элементов, придающих пучкам света необходимую траекторию. После электрооптических элементов световые пучки попадают в соединитель световых пучков, где, проинтерферировав, они выходят из модулятора по двум каналам с соотношением интенсивностей, обусловленным разностью фаз между интерферирующими пучками. Предельный случай, когда вся световая энергия выходит только в один из двух выходных каналов.

На рис. 2 представлены основные модуляционные характеристики, полученные на экспериментальных образцах рассматриваемых модификаций. Призмы ЭОЭ в данном случае были выполнены из монокристалла ниобата лития  $\text{LiNbO}_3$  высотой 3 mm с основаниями в форме равнобедренных трапеций. Размеры этой равнобедренной трапеции следующие: высота 8 mm, длина большего основания 32 mm, острый угол при большем основании трапеции равен  $45^\circ$ . Электроды сформированы на основаниях электрооптических элементов путем напыления на них меди. Такая конфигурация ЭОЭ позволяет исходному световому пучку распространяться внутри ЭОЭ, совершая ряд внутренних переотражений от боковых граней под углом  $45^\circ$  в условиях полного внутреннего отражения, увеличивая тем самым путь, проходящий световыми пучками в зоне действия управляющего электрического поля. В эксперименте был использован лазер с длиной волны 633 nm и максимальная мощность лазерного излучения составила 209 mW. Из графиков (рис. 2) можно определить, что полуволновое напряжение исследованных модификаций составило величину порядка 100 V для модификации с раздельной компоновкой элементов модулятора и



**Рис. 2.** Модуляционные характеристики монокристалльных модификаций электрооптического модулятора Маха–Цендера. Зависимость интенсивностей выходящих световых пучков от поданного напряжения: *a* — для модификации с раздельной компоновкой элементов, *b* — для монокристалльной модификации.

порядка 160 V для монокристалльной модификации. Глубина модуляции для экспериментальной модели по схеме рис. 1, *a* получилась порядка 50%, для второй модели по схеме рис. 1, *b* глубина модуляции получилась порядка 80%.

В рассмотренных модификациях электрооптических модуляторов не удалось достигнуть глубины модуляции, близкой к 100%. Как оказалось, основной для этих двух моделей причиной, влияющей на глубину модуляции, является не до конца отработанная технология создания диэлектрического зазора необходимой толщины, на котором происходит деление и соединение световых пучков. Это приводит к тому, что интенсивность не является одинаковой для обоих световых пучков после делителя и в результате при их интерференции на соединителе

выходные пучки могут достигнуть как полного нуля, так и максимума интенсивности. Однако эксперимент показал, что данные модификации способны управлять лазерным излучением, а предварительные теоретические оценки показывают на возможность таких модификаций модулировать оптический сигнал с частотой до 4 GHz и мощностью лазерного излучения не менее единиц ватт.

## Список литературы

- [1] Яриш А. Введение в оптическую электронику. М.: Высш. школа, 1983. 398 с.
- [2] Верещагин И.К. Введение в оптоэлектронику / И.К. Крючков, Л.А. Косяченко, С.М. Кокин. М.: Высш. школа, 1991. 192 с.
- [3] Petraru A. et al. // Opt. Lett. 2003 Dec 15.
- [4] May-Arrijoja D.A. et al. // Microelectronics J. 2008. V. 39. Iss. 3–4.
- [5] Buritskii K.S. et al. // Soviet J. Quantum Electronics. 1991. V. 21. N 6.
- [6] Zyuryukin Yu.A. et al. // X International Conference for Young Researchers Wave Electronics and Its Applications In The Information and Telecommunication Systems. July 2–6, 2007. St.-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. Russia. P. 28.
- [7] Древко Д.Р. и др. // Оптика и спектроскопия. 2010. Т. 108. № 6. С. 1049–1051.