

Н.П. Проскурин

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

РАЗВИТИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ, МИКРОМОЩНЫХ ОПТРОНОВ И ИХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Проанализировано современное состояние и развитие оптических связей, компонентов микромоощных оптронов (излучатель, фотоприемник) для их использования: между блоками цифровых интегральных схем (ИС), связей типа кристалл - корпус ИС и непосредственно на поверхности кристалла ИС. Рассмотрены пределы частот для металлических направляющих сред (НС) и основные факторы, определяющие их; указаны преимущества оптических НС. Проведен краткий анализ элементов микромоощных оптронов и их компонентов ОБЧ, УВЧ диапазонов, схем оптоэлектронных логических элементов на их основе (типа ИЛИ-НЕ) и предложенных автором конструкций, их моделей. Предложены перспективные конструктивно-технологические решения и обоснование их внедрения в современные разработки планарных оптоэлектронных цифровых ИС; рассмотрены подходы и ряд конструкций известных фирм производителей с использованием оптических НС для ИС, сформулированы выводы.

Ключевые слова: оптические связи, микромоощные оптроны, цифровые интегральные схемы.

Введение

Использование структурированных потоков оптической информации получило широкое применение в технике, в частности – в приборах передачи информационно данных, в устройствах управления технологическим и бортовым оборудованием, медицинской аппаратуре, видеонаблюдении и др. Это связано с преимуществами оптических и оптоэлектронных устройств (средств и способов связи на их основе) над электрическими. В основе оптоэлектроники лежат эффекты взаимодействия между электронейтральными электромагнитными волнами (или фотонами) и электронами веществ – носителями заряда (НЗ) преимущественно твердых тел. В устройствах на основе систем излучатель – фотоприемник (например, оптрон типа СД-ФД), соединенных между собой волоконно-оптическим каналом (ВОК, например в виде оптического кабеля – ОК), оптический сигнал от излучателя способен без значительных потерь проходить большие расстояния. Устройства и схемы обработки оптической цифровой информации на основе оптронов и/или их элементов получают все большее применение не только в виде входных/выходных устройств традиционной цифровой аппаратуры (типа телекоммуникационных цифровых приемопередатчиков, коммутаторов, селекторов, др.), но и в виде оригинальных конструктивно-технологических решений (КТР): ИС с оптическими связями (ОС) и оптоэлектронные цифровые ИС (ОЦИС), которые могут быть выполнены на микромоощных оптронах. Ведущие

мировые производители расширяют номенклатуру производства различного типа оптоэлектронных приборов, а именно: оптроны, оптореле, логические ключи ИС с ОС, оптические интерфейсы, др.

Постановка проблем. Технологические основы конструкций, этапы развития, реализация и перспективы. С одной стороны известно, что динамика изменения параметров традиционных цифровых ИС, связи между каскадами которых осуществляются по направляющим средам (НС) в виде токоведущих проводов на основе металлических дорожек (рис. 1, а), указывает на приближение их к определенному частотному пределу (граничная частота переключения $f_{гр}$). Его граница отличается для разных схем электронных типов логики традиционных ИС (T^2L , I^2L , ЭСЛ, $T^2LШ$, МОП, К-МОП, др.), но она связана с рядом общих для них и ИС факторов, основными из которых являются:

– физические свойства выбранных носителей информации (основные НЗ: электроны, значение их подвижности μ в полупроводниковой структуре-ППС, др.), НС в виде проводников и связанные с ними R , L , C параметры (например, задержка переключения $t \sim R \cdot C$, др.);

– технологические ограничения (топологические – минимальный размер элементов, количество выводов корпуса ИС, внутренних связей, их длина, др.);

– ограничения выбранных материалов для ППС ИС, в т.ч. величины: работа переключения из «1»/«0» в «0»/«1», потребляемая и рассеиваемая мощность $P_{ИС}$, шумы тепловые $P_{шт} \sim kT$, др.

Также известна высокая восприимчивость традиционных ИС, аппаратуры, блоков (связанных проводными соединениями в виде токоведущих дорожек, внутренних и внешних интерфейсах, кабелей, шлейфов, др.) к электромагнитным помехам (ЭМП), суть явления которых заключается в возможности наведения в проводнике длиной l ложных импульсов виде «0» и «1».

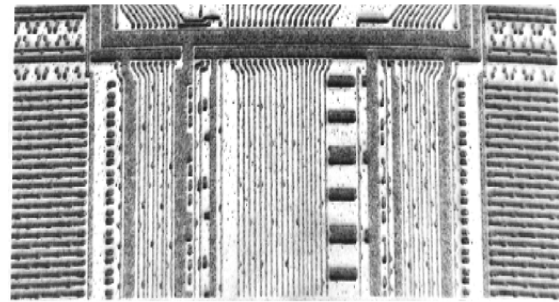
Все это определяет недостатки проводных ИС: двупроводный способ доставки сигнала (цепи сигнальная и общая), сложность организации одновременной передачи множества сигналов по одной цепи, наличие паразитных обратных связей, восприимчивость к ЭМП, ограничения на длину l линий связи (ЛС): ЛС цифровых плат/блоков с ИС, коммутирующее оборудование, компьютерные сети, параметры частот переключения $F_{ГР}$ для ЛС, др.

Анализ последних достижений и публикаций. С другой стороны, известно, что существенные преимущества оптического способа связи базируются на использовании электронейтральных фотонов, свойствах оптических ИС, в которых фотоны одной длины волны λ (или разных $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_k$) распространяются от одного (или нескольких источников) излучения к ФП по волоконнооптическому каналу (ВОК), а также связи и характер их взаимодействия с электронами твердых веществ - основных НЗ ППС [1].

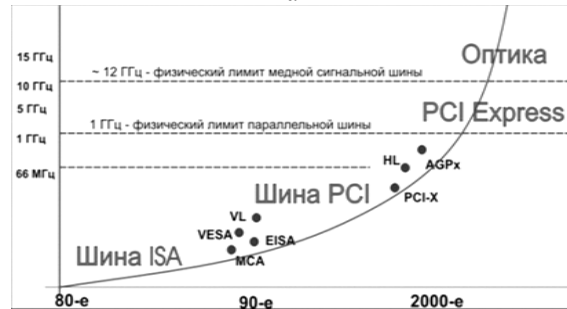
На рис. 1 представлен фрагмент микрофото ИС 90-х годов с топологией «общая шина» на ИС в виде металлических проводников: вертикальные тонкие ЛС в виде n -разрядных ША, ШД, ШУ кратные $n = 2^k$; утолщенные дорожки – разводка питания ИС, горизонтальные ЛС – входы, выходы триггеров (регистров) ША, ШД, ШУ – а; прогнозы развития последовательных, параллельных интерфейсов ИС 2000-х (б), 2015-х (в) годов (значения граничных частот $F_{ГР}$ указаны для медных ИС) с предположительным направлением их совершенствования в сторону ОС) – б, в.

Эти преимущества в современной оптоэлектронике реализованы в виде использования оптоэлектронных приборов (на основе оптронов и/или их разновидностей и элементов) при их применении в преобразовательных, вычислительных, управляющих устройствах (ПУ, ВУ, УУ) технологическими объектами (передача, прием, хранение, преобразование информации в телекоммуникационной технике, бортовом оборудовании, встраиваемых системах, др.). На рис. 1, б, в приведены обобщенные прогнозы развития последовательных и параллельных интерфейсов /шин цифровых устройств (годы: 2000-й – б; 2015-й – в), где обозначены частотные границы $F_{ГР}$ при применении металлической (медной) шины с указанием ее типа, а правый участок обеих кривых однозначно указывает на применение ОС. На рис. 2

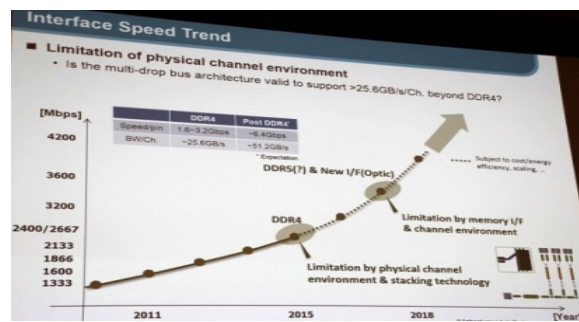
приведены недостатки металлических ЛС и преимущества ОС.



а



б



в

Рис. 1. Фрагмент микрофото ИС 90-х годов с топологией «общая шина»

ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕРЕХОДА НА ОПТИЧЕСКИЙ ТИП СВЯЗИ

Недостатки металлические линии связи(ЛС)	Преимущества оптический тип связи(ОС)
<ul style="list-style-type: none"> конечные значения емкости C и сопротивления R, которые влияют на время задержки($\tau=RC$) и работу($A=P \cdot t$) переключения трудноконтролируемые значения емкостей C между ЛС в ИС ~70% площади ИС занято ЛС ~80% мощности источника питания расходуется на перезарядку входов/выходов ЛЭ чувствительность к электромагнитным помехам максимальная частота модуляции $\sim 10^{10}$ 	<ul style="list-style-type: none"> отсутствие влияния емкостных, резистивных, индуктивных нагрузок невосприимчивость к электромагнитным помехам наличие встроенной гальванической развязки большая пропускная способность(WDM) относительная простота реализации на ИС в рамках существующего технологического процесса(Si/SiO_2) высокая степень совместимости с существующими ЭТЛ максимальная частота модуляции $\sim 10^{15}$

Рис. 2. Сравнение недостатков металлических ЛС и преимуществ ОС для ИС

Сходные положения о переходе на ОС (при повышении $F_{гр}$) для уже существующих типов системных шин (типа «точка-точка», например, шины SATA с ОС), их модернизации и дальнейшего развития приведены в [2].

Основной материал

Анализ излучателей для «коротких» и «длинных» оптронов (схем с источником мало- и мощного оптического излучения в виде: модуляторов, приемопередатчиков, переключательных устройств, др.) указывает, что подходящими для расстояний $0,001\text{мм} \dots 10^3\text{м}$ являются твердотельные некогерентные излучатели типа ИК СД (на основе GaAs или подобных). Они обладают приемлемым набором качеств и характеристик, отличаются малой потребляемой мощностью, высоким быстродействием (менее 10^{-9}с) и достаточным КПД преобразования $E \rightarrow L$ (десятки процентов), длительным временем функционирования (более 10^6 ч непрерывной работы) и производятся по современным планарным технологиям [3–4].

Обзор фотоприемников (ФП) как элементов оптронов, указал на перспективность применения традиционной схемы ФП в виде р-і-п ФД и ВЧ транзистора с быстродействием более 10^9с [4]; среди них оригинальным КТР, например, является «Интегральный фотоприемный пристрій» [5] автора статьи, в котором р-і-п ФД интегрирован в размер n-p-n ВЧ биполярного транзистора (Тр.). Это обеспечило относительно малые размеры ФП, приемлемые физические показатели фото преобразования (S фотоокна, уровень генерации ФД, значение коэффициента усиления Тр., возможность его подстройки, др.), а также технологичность этапов его производства по планарной технологии (в едином цикле создания малоразмерной оптоэлектронной ППС). Объединение ИК СД и ИФУ в КТР в виде микромощного оптрона, их оптимизация (способом: выбора режима модуляции ИК СД типа «малый сигнал»; снижения на порядки размеров, рабочих токов, повышения частоты переключения увеличением концентрации примеси ППС, др.) и компьютерное моделирование (КМ) на основе схем оптоэлектронных ЛЭ (типа пИЛИ-НЕ: базис Пирса) показало их возможности и перспективы для создания ИС с оптическими связями (ИСОС) с $F_{гр}$ в пределах УВЧ диапазона.

В начале этапа использования дискретных оптронов и их элементов (при реализации преимуществ ОС) было предложено применить их в различных экспериментальных конструкциях, например, в виде блока из ряда плат с ИС и межплатных ОС (с открытым и/или закрытым ВОК). В одной из них использованы ОС по закрытому ВОК в виде волоконнооптических пластин (ВОП) между горизонтальными платами «этажерки» блока на основе

излучателей (чаще всего – ИК СД) и ФП (на основе р-і-п ФД) с рабочей частотой F_r до нескольких десятков МГц [6]. Предложенное КТР позволяло входные/выходные сигналы ИС одной горизонтальной платы преобразовать в оптические и перенаправить на другую горизонтальную плату с ИС по ВОП. Реализация раннего варианта КТР в виде оптических межплатных связей с ИС на основе СД-ВОП-ФП показана на рис. 3, а.

Однако предложенное КТР далеко от оптимального по нескольким причинам: 1 – использование традиционных ИС и связей между ними на і-й плате; 2 – использование дискретных оптронов, их элементов (СД, ФП) и ВОК, связей между ними в ИС (применение немонолитной технологии); 3 – сложность юстирования слоев ВОП для повышения КПД передачи оптических цифровых сигналов от СД к ФП; 4 – отсутствие подходов к снижению габаритов, мощности потребления дискретных оптронов, их элементов и повышения частоты их переключения $F_{гр}$; др. Указанные недостатки были частично преодолены в нескольких КТР, предложенных автором статьи: на рис. 3, б приведено первое из них в виде ИСОС (название патента «Цифровой пристрій з оптоелектронним блоком» [7]). Особенности указанного КТР ИСОС являются: применение оптоэлектронных логических элементов (ЛЭ) типа пИЛИ-НЕ на основе микромощных оптронов УВЧ диапазона, которые разработаны, рассчитаны и промоделированы автором [8]; раздельное исполнение ППС (по планарным технологиям) в виде подложек (пластин) микроизлучателей (ИК СД) и ФП в виде интегрального фотоприемного устройства (ИФУ) [5], которые в конструкции «склейка» двух указанных подложек образуют ИСОС (элементы ОЛЭ типа пИЛИ-НЕ на рис. 3, б выделены пунктиром).

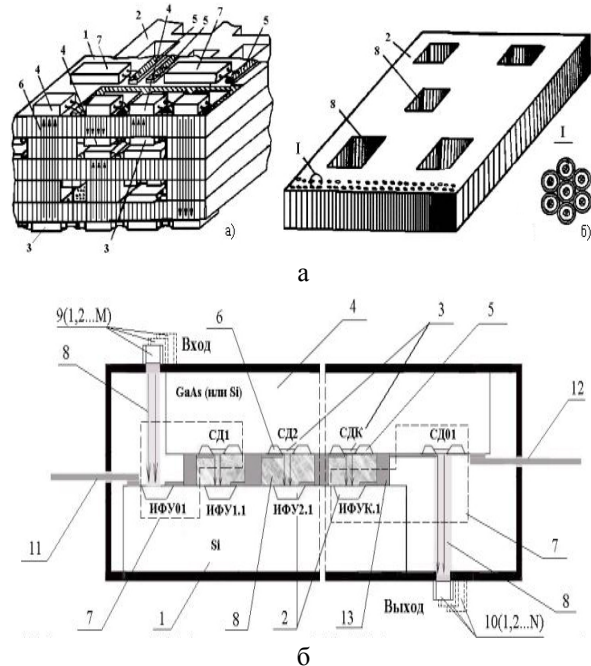


Рис. 3. Реализация ИС с ОС

На рис. 3: КТР 80-х годов 20-го века на основе «склеек» ИС и устройства типа ВОП а: конструкция в сборе – а; ВОП с ВОК – б: 1 – плата для ИС с разводкой; 2 – ВОП с ВОК; 3 – блок СД; 4 – блок ФП; 5 – тоководущие дорожки от /к ИС и шины питания; 6 – ход оптических лучей; 7 – ИС; 8 – окна для электрических связей; разрез I – вид сверху на ВОК, составляющих ВОП (увеличено).

КТР оптоэлектронной ИС в виде ИСОС (эскиз автора) – б: 1 – подложка матрицы ФП; 2 – ИК УВЧ ИФУ; 3 – ИК УВЧ СД; 4 – подложка матрицы ИК УВЧ СД; 5 – резисторы; 6 – шины питания; 7 – ОЛЭ n-ИЛИ-НЕ (первый и последний в ряду); 8 – оптическая среда; 9 (1,2...M) и 10 (1,2...N) – входные и выходные оптические связи в разъемах; 11, 12 – выводы питания ИК УВЧ матриц СД и ИФУ (соответственно); 13 – контактные площадки подачи питания на ИФУ и СД микро мощных оптронов, соединенные методом перевернутого кристалла (МПК).

Указанное КТР автора получило развитие и легло в основу следующего патента на полезную модель с названием «Оптоэлектронна інтегральна схема для цифрових автоматів» [9], которая состоит из нескольких горизонтальных рядов «склеек» ИСОС, оптически связанных между собой (как и каждая «склейка» [7]). Такой подход (наращивание склеек) возможен при расширении применения типовых программируемых цифровых автоматов (ЦА) с использованием принципа: одинаковый/разный управляющий автомат (УА) – одинаковый/разный операционный автомат (ОА) и/или их сочетания.

Известно, что разработчики известных фирм Intel и Apple, др. при реализации оптоэлектронных ИС и их ОС применили, с одной стороны, сходные подходы с автором [10–11]: например, организация разделения входных/выходных оптических потоков цифровых данных, реализация отдельных блоков излучателей и фотоприемников; с другой стороны – традиционные подходы (гибридная технология ИС с навесными элементами: излучатели в виде ППС лазеров и фотоприемники), от которых автор отказался в предложенных конструкциях [5; 7–9].

Анализ предложенных автором настоящей статьи КТР и указанные подходы указали возможные направления интеграции микро мощных оптронов (диапазон переключения – ОВЧ, УВЧ) и их элементов в ИС, но в вопросе реализации планарных оптических интерфейсов ИС (подобных рис. 1, а и/или чем-то отличных от них) последние мало что внесли обнадешивающего. Однако позже автором [12] для решения этого вопроса предложено оригинальное и перспективное направление реализации КТР оптического интерфейса ИС (на основе ранее проведенных исследований и разработок российских [13] и украинских ученых [14]). Первые предложили тех-

нологию получения и использование интегрального оптического волновода на основе окисления пористого кремния (Si), а вторые указали на возможность реализации микрооптронов (типа ИК СД – ФД) по планарным технологиям на Si подложках с расположением GaAs микрокристаллов в изолированных межах на их поверхностях (возможность торцевого вывода излучения из ППС СД параллельно поверхности Si подложки). Совместное использование указанных подходов может привести к приемлемому КТР для создания планарных оптических интерфейсов ИС (частично схожих с проводными интерфейсами ИС, рис. 1, а), в котором используются известные технологические приемы, подходы и этапы создания ППС как для элементов микро мощных оптронов [12–14], так и для традиционных ИС (например, для формирования шин питания оптронов, изолированных мез для размещения их элементов, p-n переходов СД, p-i-n ФД, структур ВЧ транзисторов, др. [2–3]).

Выводы

Проведенный анализ предметной области, приведенные рассуждения, сопоставления различных подходов и КТР, а также результаты КМ микро мощных оптопар ОВЧ, УВЧ диапазонов (проведены автором ранее [8; 12]), др. приводит автора к следующим выводам:

1. Объективные возможности повышения производительности ИС, ЦУ, УУ (после достижения предела $F_{гр}$ для металлических ИС в традиционных цифровых ИС (3...5 ГГц – рис. 1, б, в) могут быть обеспечены переходом на ОС.

2. Обзор современных КТР с использованием ОС показал начало их промышленного применения (в экспериментальных устройствах фирм Intel, Apple, др.) как на уровне межплатных связей, так и между/внутри ИС и/или ее частями /узлами. Однако, реализованные КТР далеки от оптимальных (используется гибридная технология, навесные элементы ППС излучателей, фотоприемников для реализации ОС, основная часть ИС выполнена по традиционной технологии) и нуждаются в усовершенствовании.

3. Рассмотренные в настоящей статье КТР характеризуются как применением гибридных технологий получения ППС (в экспериментальных ИС с ОС фирм Intel, Apple [10–11]), так и тенденцией их унификации и сближения с планарными технологиями [7–9] (характерны для технологий ИС с металлическими ИС).

4. Для формирования внутренних/внешних ОС, интерфейсов в цифровых ИС перспективным направлением может быть использование элементов микро мощных оптронов ОВЧ, УВЧ диапазона (ИК СД и p-i-n ФД на Si подложках), схем опто-

электронных ЛЭ (типа nIII-V) на их основе и сталлов ИС на основе ряда КТР, предложенных автором [5; 7–9; 12].

Список литературы

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман. – М.: Техносфера, 2003. – 450 с.
2. Семейство шин SATA. Сравнение с другими шинами. [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SATA>.
3. Берг А. Светодиоды / А. Берг, П. Дин. – М.: Мир, 1979. – 688 с.
4. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов: В 2 т. / С.М. Зи. – М.: Мир, 1984. – 912 с.
5. Декл. Пат. №68540А. Україна, МКИ G02F 3/00. Інтегральний фотоприймальний пристрій / О.С. Білявська, В.Л. Костенко, М.П. Проскурін. – № 20033076496; Заявл.11.07.2003; Опубл. 16.08.2004, Бюл.№ 8. – 3 с.
6. Тесленко В.П. Радиоэлектронный блок с некондуктивными связями / В.П. Тесленко, О.В. Щекотихин, Г.А. Полянский, П.А. Ройбул // Тр. 7-й Междунар. конф. “Волоконная оптика в системах связи, промышленной автоматике, медицине”. – Запорожье: ЗНТУ, 2002. – С. 70-72.
7. Декл. Пат. на корисну модель №10133 Україна, МКИ G02F 3/00. Цифровий пристрій з оптоелектронним блоком / М.П. Проскурін, О.С. Білявська, О.О. Демиденко. – № у 2005 00239; Заявл.11.01.2005; Опубл.15.11.2005, Бюл. №11. – 3 с.
8. Проскурін М.П. Мікропотужні оптоелектронні логічні елементи цифрових інтегральних схем на твердотільних світлодіодних і фотоелектричних пристроях: автореферат ... канд. техн. наук: 05.27.01 «Твердотільна електроніка» / Проскурін Микола Петрович. – Одеса: ОНПУ, 2007. – 20 с.
9. Пат. на корисну модель №51219 Україна, МПК G02F 3/00. Оптоелектронна інтегральна схема для цифрових автоматів / М.П. Проскурін. – № у 2009 13491; Заявл.24.12.2009; Опубл. 12.07.2010, Бюл. №13. – 3 с.
10. Holey Optochip! IBM hits a terabit of info per second. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.cnet.com/news/holy-holey-optochip-ibm-hits-a-terabit-of-info-per-second>.
11. Light Peak – новая технология передачи данных от Intel и Apple [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://macspoon.ru/apple/light-peak>.
12. Проскурін М.П. Оптичні інтерфейси цифрових інтегральних схем на Si підкладках / М.П. Проскурін // Науковий вісник ЧНУ. Комп'ютерні системи та компоненти. – Чернівці: ЧНУ, 2013. – Вип. 4, Т. 4. – С. 125-133.
13. Бондаренко В.П. Интегральный оптический волновод на основе пористого кремния / В.П. Бондаренко, В.С. Вариченко, А.М. Дорофеев // Письма в ЖТФ. – 1993. – Т. 19, вып. 14. – С. 73-76.
14. Осинский В.И. Проблемы интеграции структур гетерозлектроники с кремниевыми ИС / В.И. Осинский, П.Ф. Олексенко, А.В. Палагин и др. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 1999. – №1. – С. 3-17.

References

1. Fryman, R. (2003), “*Volokonno-opticheskiye systemy svyazy*” [*Fiber Optic Communication Systems*], Tekhnosfera, Moscow, 450 p.
2. “*Semeystvo shyn SATA. Sravnenye s druhymy shynamy*” [*The family of SATA tires. Comparison with other tires*], <https://ru.wikipedia.org/wiki/SATA>.
3. Berh, A. and Dyn, P. (1979), “*Svetodyody*” [*LEDs*], Myr, Moscow, 688 p.
4. Zy, S.M. (1984), “*Fyzyka poluprovodnykovykh pryborov*” [*Physics of semiconductor devices*], Myr, Moscow, 912 p.
5. Bilyavs'ka, O.S., Kostenko, V.L. and Proskurin, M.P. (2003), “*Intehral'nyy fotopryymal'nyy prystriy*” [*Integrated photodetector device*], Ukraine, No.68540A MKY G02F 3/00.
6. Teslenko, V.P., Shehekotykhyn, O.V., Polyansky, H.A. and Roybul, P.A. (2002), “*Radyoelektronnyy blok s nekonduktivnyy my svyazyamy*” [Radio-electronic unit with non-conductive connections], *7th Mezhdunar. konf. “Volokonnaya optyka v systemakh svyazy, promyshlennoy avtomatyke, medytseyne”*, ZNTU, Zaporozh'e, pp. 70-72.
7. Proskurin, M.P., Bilyavs'ka, O.S. and Demydenko, O.O. (2005), “*Tsyfrovyy prystriy z optoelektronnym blokom*” [*Digital device with optoelectronic unit*], Ukraine, No.10133 MKY G02F 3/00.
8. Proskurin, M.P. (2007), “*Mikropotuzhni optoelektronni lohichni elementy tsyfrovyykh intehral'nykh skhem na tverdotel'nykh svitlovypprominyuyuchykh i fotoelektrychnykh prystroyakh*” [*Micropowered optoelectronic logic elements of digital integrated circuits on solid-state light-emitting and photovoltaic devices*], ONPU, Odesa, 20 p.
9. Proskurin, M.P. (2009), “*Optoelektronna intehral'na skhema dlya tsyfrovyykh avtomativ*” [*Optoelectronic integrated circuit for digital devices*], Ukraine, No.51219 MPK G02F 3/00.
10. *Holey Optochip! IBM hits a terabit of info per second*, www.cnet.com/news/holy-holey-optochip-ibm-hits-a-terabit-of-info-per-second.
11. “*Light Peak -novaya tekhnolohyya peredachy dannykh ot Intel y Apple*” [*Light Peak-new technology for data transfer from Intel and Apple*], www.macspoon.ru/apple/light-peak.
12. Proskurin, M.P. (2013), “*Optychni interfeysy tsyfrovyykh intehral'nykh skhem na Si pidkladkakh*” [Optical interfaces of digital integrated circuits on Si substrates], *Naukovyy visnyk ChNU, Komp'yuterni systemy ta komponenty*, No. 4, Vol. 4, ChNU, Chernivtsi, pp. 125-133.
13. Bondarenko, V.P., Varychenko, V.S. and Dorofeev, A.M. (1993), “*Yntehral'nyy optichesky volnovod na osnove porystoho kremnyya*” [Integral optical waveguide based on porous silicon], *Pys'ma v ZhTF*, Vol. 19, No. 14, pp. 73-76.

14. Osynskyy, V.Y., Oleksenko, P.F. and Palahyn, A.V. (1999), "Problemy yntehratsyy struktur heteroelektronnyky s kremnyevymy YS" [Problems of integrating hetero-electronics structures with silicon ICs], *Tekhnolohyya y konstruyovanye v elektronnoy apparature*, No.1, pp. 3-17.

Надійшла до редколегії 17.05.2018

Схвалена до друку 19.06.2018

Відомості про автора:

Проскурін Микола Петрович

кандидат технічних наук доцент
доцент кафедри
Запорізького національного технічного університету,
Запоріжжя, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5550-7384>

Information about the author:

Nikolay Proskurin

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of Zaporizhyya National
Technical University,
Zaporizhyya, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5550-7384>

**РОЗВИТОК ОПТИЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ, МІКРОПОТУЖНИХ ОПТРОНІВ І ЇХ КОМПОНЕНТІВ
ДЛЯ ІНТЕРФЕЙСІВ ЦИФРОВИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ**

М.П. Проскурін

Проаналізовано сучасний стан і розвиток оптичних зв'язків, компонентів мікропотужних оптронів (випромінювач, фотоприймач) для їх використання: між блоками цифрових інтегральних схем (IC), зв'язків типу кристал - корпус IC і безпосередньо на поверхні кристала IC. Розглянуто межі частот для металевих напрямних середовищ (НС) і основні чинники, що визначають їх; вказані їх недоліки і переваги оптичних НС. Проведено короткий аналіз елементів мікропотужних оптронів і їх компонентів ДВЧ, УВЧ діапазонів, схем оптоелектронних логічних елементів на їх основі (типу nАБО-НІ) та запропонованих автором конструкцій їх моделей. Запропоновано перспективні конструктивно-технологічні рішення (КТР) та обґрунтування їх для впровадження в сучасні розробки планарних оптоелектронних цифрових IC; розглянуті підходи і ряд конструкцій відомих фірм виробників з використанням оптичних НС для IC, сформульовані висновки.

Ключові слова: оптичні зв'язки, мікропотужні оптрони, цифрові інтегральні схеми.

**DEVELOPMENT OF OPTICAL LINKS, MICROPOWER OPTOCOUPERS AND THEIR COMPONENTS
FOR INTERFACES DIGITAL INTEGRATED SCHEMES**

N. Proskurin

The current state and development of optical links, components of micropower optocouplers (a radiator, a photodetector) for their use are analyzed: between blocks of digital integrated circuits (ICs), crystal-IC housing connections and directly on the surface of an IC chip. The frequency limits for metal guide media (GM) and the main factors determining them are considered; indicated these disadvantages and the advantages of optical GM. A short analysis of the elements of micro-power optocouplers and their VHF components, UHF bands, optoelectronic logic circuits based on them (of the nOR- NOT type) and the designs proposed by the author and their models was carried out. Prospective constructive- technological solutions (CTS) and the rationale for their implementation in modern developments of planar optoelectronic digital ICs are proposed; approaches and a number of designs of well-known manufacturers with the use of optical GM for IC are considered, conclusions are formulated.

Keywords: optical links, micropower optocouplers, digital integrated schemes.