

Н.Н. Непейвода, А.А. Цветков, М.М. Хаткевич

Опыт проектирования кристаллографических вычислительных элементов

АННОТАЦИЯ. В настоящей работе рассматриваются теоретические основы кристаллографических вычислений и описывается опыт проектирования ускорителей вычислений на основе кристаллов парателлуриата для суммирования и умножения алгебраических объектов

Ключевые слова и фразы: Кристаллографические вычисления, Проектирование ускорителей вычислений, Парателлурит

Введение

В основу кристаллических вычислений положено фундаментальное явление поляризации в кристаллах, при котором векторы поляризации двух лучей, проходящих через кристалл, суммируются в соответствии с правилами векторного сложения.

В настоящей работе авторы рассмотрели возможность использования этого явления для построения компонентов вычислительных систем (далее ВС), которые позволяют проводить вычисления без так называемой «стены памяти» на скоростях близких к скорости света.

В одной работе несколько проблематично показать все элементы ВС, поэтому авторы решили ограничиться демонстрацией таких элементов, как оптический сумматор и умножитель, а также их комбинация, которая позволяет вычислить произведение матриц размерностью 2×2 . В качестве примера используется следующее произведение матриц:

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 00 & 01 \\ 00 & 10 \end{pmatrix} \quad (1)$$

1. Основные компоненты кристаллического вычислителя

1.1. Умножитель

Особенности архитектуры компонента «Кристаллический умножитель» приведены на Рис. 1.

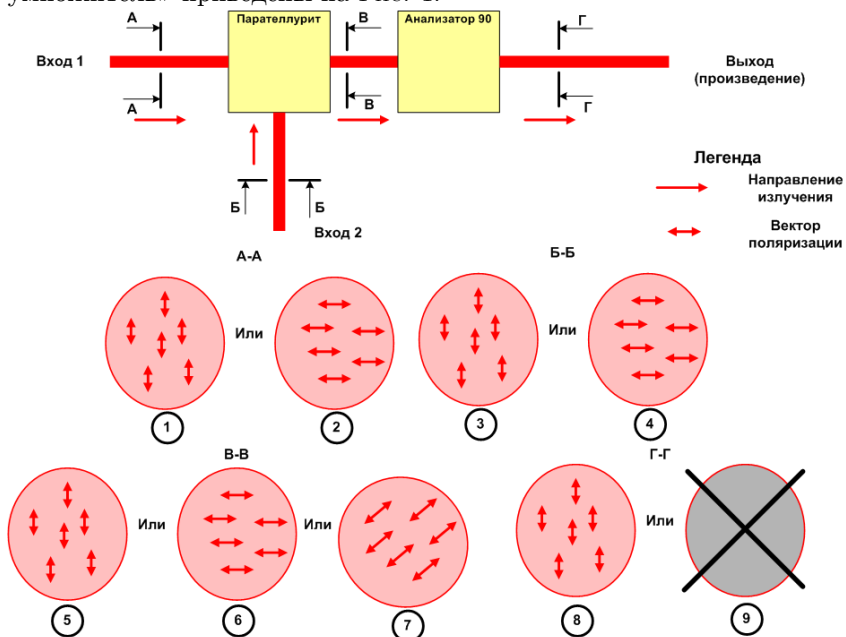


Рис. 1. Принцип действия кристаллического умножителя

Кристаллический умножитель (далее КУ) построен на двух кристаллах парателлуриита (далее Кристалл). Один из Кристаллов выполняет роль смесителя и поляризатора двух входных лучей света с одной длиной волны, но по-разному поляризованных в зависимости от того какому числу поставлен в соответствие вектор поляризации. В нашем случае значению «ноль» соответствует поляризация 0 градусов, а значению «единица» - 90 градусов.

При прохождении Кристалла векторы поляризации суммируются в соответствии с ТАБЛ. 1.

ТАБЛ. 1. ВЕКТОРНАЯ СУММА ПОЛЯРИЗАЦИИ НА ВЫХОДЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА ВХОДЕ

| Поляризация Входа 1 | Поляризация Входа 2 | Поляризация выходного луча |
|---------------------|---------------------|----------------------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 90 | 45 |
| 90 | 0 | 45 |
| 90 | 90 | 90 |

На Рис. 1 показаны сечения для входных и выходного луча, в которых отображены векторы поляризации (см. сечения А-А, Б-Б, В-В). На выходе элемента «Парателлуриит» устанавливаются два Кристалла, выполняющих роль анализаторов, т.е. элементов, которые пропускают свет только с определенной поляризацией: «Анализатор 90» и «Анализатор 0-45» (последний в целях упрощения на рисунке не показан). При этом «Анализатор 0-45» пропускает компоненту излучения с вектором поляризации от 0 до 45 градусов и, в свою очередь, поляризует компоненты с поляризацией 45 градусов в 0 градусов. Т.е., если на выходе элемента «Парателлуриит» присутствуют компоненты с поляризацией 45 градусов, то на выходе компонента «Анализатор 0-45» поляризация выходящего света будет всегда 0 градусов или излучения не будет. «Анализатор 90» на выходе будет иметь излучение с поляризацией 90 градусов или излучения не будет вообще (см. сечение Г-Г на Рис. 1). Диаграмма состояний приведена в ТАБЛ. 2.

ТАБЛ. 2. СОСТОЯНИЕ ВЫХОДОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО УМНОЖИТЕЛЯ

| Поляризация на Входе 1 | Поляризация на Входе 2 | Поляризация на выходе из элемента «Парателлурит» | Поляризация на выходе из элемента «Анализатор 90» | Поляризация на выходе из элемента «Анализатор 0-45» |
|------------------------|------------------------|--|---|---|
| 0 | 0 | 0 | Излучение отсутствует | 0 |
| 0 | 90 | 45 | Излучение отсутствует | 0 |
| 90 | 0 | 45 | Излучение отсутствует | 0 |
| 90 | 90 | 90 | 90 | Излучение отсутствует |

Если в соответствие поляризации поставить числа следующим образом: 0 – 0 градусов, 1 – 90 градусов; то из таблицы очевидно следует – данная конфигурация является по сути множителем чисел.

1.2. Сумматор

Особенности архитектуры компонента «Кристаллический сумматор» приведены на Рис. 2.

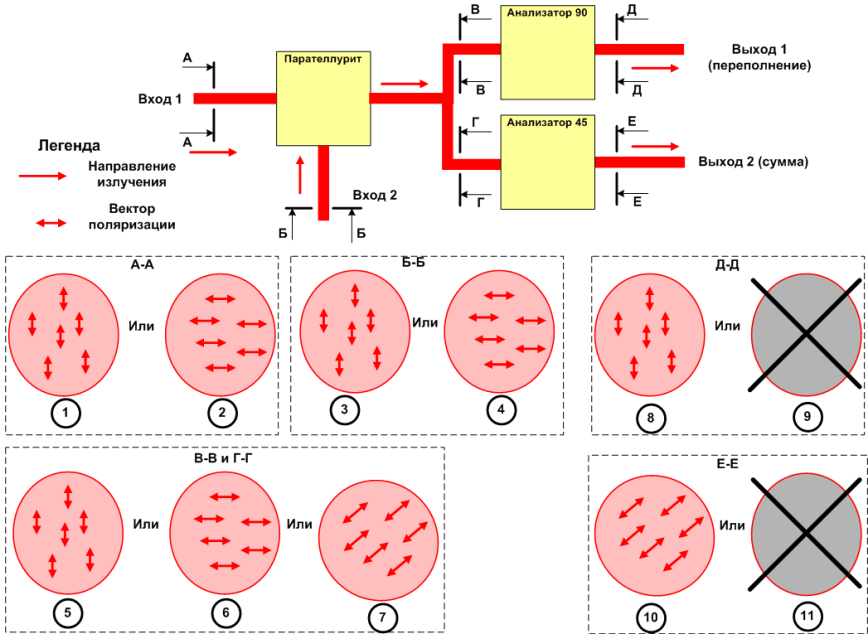


Рис. 2. Принцип действия кристаллического сумматора

Кристаллический сумматор (далее КС) построен на трех кристаллах парателлуриита (далее Кристалл). Один из Кристаллов выполняет роль смесителя и поляризатора двух входных лучей света с одной длиной волны, но по-разному поляризованных в зависимости от того какому числу поставлен в соответствие вектор поляризации (см. ТАБЛ. 1).

На Рис. 2 показаны сечения для входных и выходных лучей, в которых отображены векторы поляризации (см. сечения А-А, Б-Б, В-В, Г-Г). На выходе элемента «Парателлуриит» устанавливаются три Кристалла, выполняющих роль анализаторов, т.е. элементов, которые пропускают свет только с определенной поляризацией: «Анализатор 90», «Анализатор 45» и «Анализатор 0» (последний для упрощения рисунка не показан). Таблица состояний для КС показана в ТАБЛ. 3.

Если в соответствие поляризации поставить числа следующим образом: 0 – 0 градусов, 1 – 45 градусов, 90 градусов; то из табли-

цы очевидно следует – данная конфигурация является по сути сумматором чисел.

ТАБЛ. 3. СОСТОЯНИЕ ВЫХОДА КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СУММАТОРА.
ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ В ГРАДУСАХ

| Поляризация на Входе 1 | Поляризация на Входе 2 | Поляризация на выходе из элемента «Парателлурит» | Поляризация на выходе из элемента «Анализатор 90» | Поляризация на выходе из элемента «Анализатор 45» | Поляризация на выходе из элемента «Анализатор 0» |
|------------------------|------------------------|--|---|---|--|
| 0 | 0 | 0 | Излучение отсутствует | Излучение отсутствует | 0 |
| 0 | 90 | 45 | Излучение отсутствует | 45 | Излучение отсутствует |
| 90 | 0 | 45 | Излучение отсутствует | 45 | Излучение отсутствует |
| 90 | 90 | 90 | 90 | Излучение отсутствует | Излучение отсутствует |

2. Архитектура кристаллического вычислителя и описание его работы

Особенности архитектуры кристаллического вычислителя (далее КВ), выполняющего алгебраическое умножение двух матриц с размерностью 2×2 , приведены на Рис. 3. КВ включает следующие основные компоненты (см. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

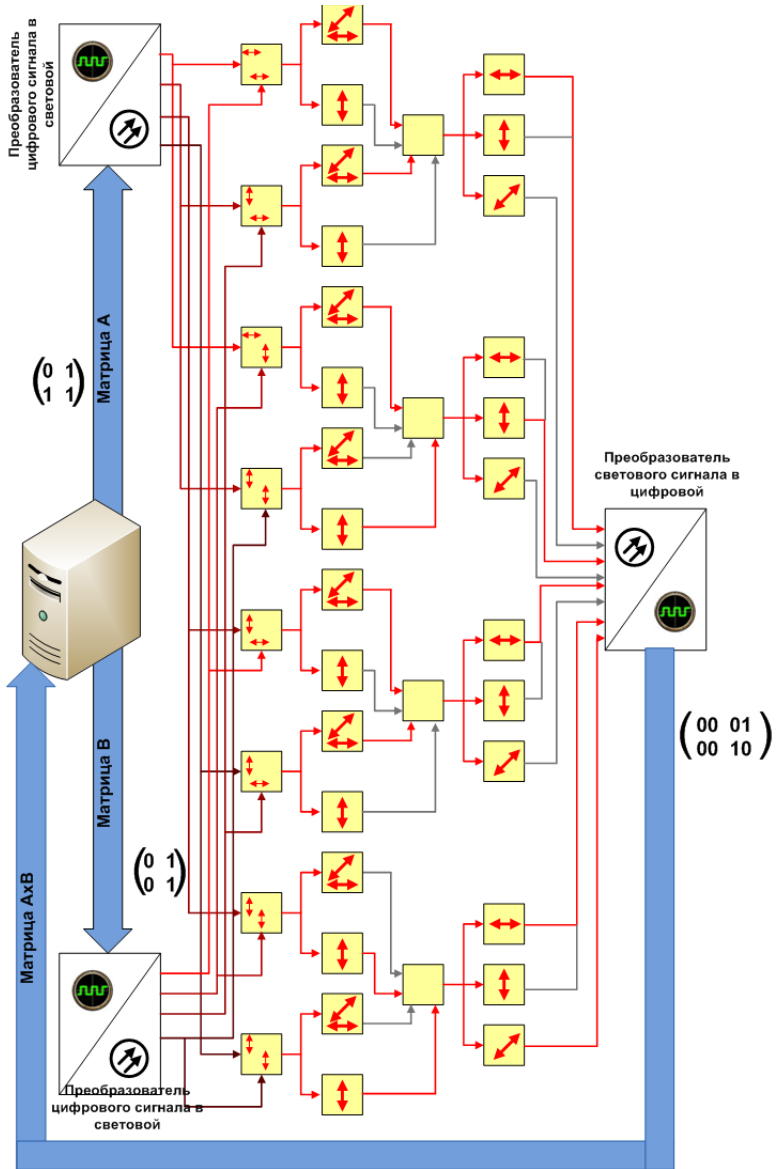


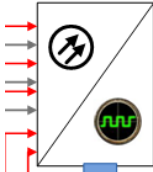


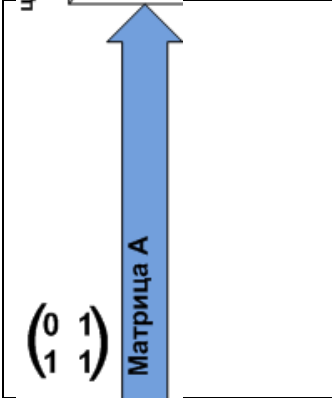


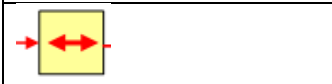

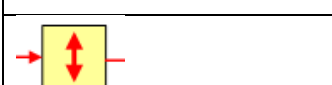
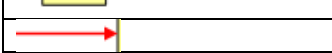

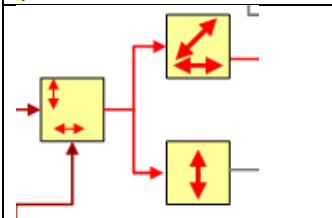
РИС. 3. АРХИТЕКТУРА КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО УМНОЖИТЕЛЯ МАТРИЦ РАЗМЕРНОСТИ 2x2

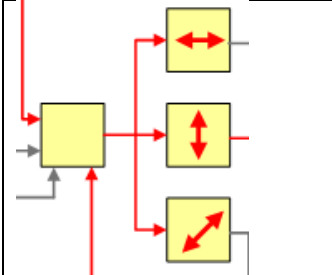
Работа КВ осуществляется следующим образом.

1. С компьютера по ИШ на входы ЦСП подаются цифровые данные, содержащие численные значения матриц A и B ;
2. В ЦСП цифровые данные преобразуются в световые данные в соответствии со следующим правилом кодировки: 0 – излучение с вектором поляризации 0 градусов, 1 – излучение с вектором поляризации 90 градусов; выходы ЦСП (сверху вниз) соответствуют следующим значениям матрицы: выход 1 – элемент матрицы 11, выход 2 – элемент матрицы 12, выход 3 – элемент матрицы 21, выход 4 – элемент матрицы 22;
3. По световодам световые данные передаются на соответствующие группы КУ. Красным цветом обозначены активные при данном наборе входных данных световоды. Серым цветом обозначены пассивные при данном наборе данных световоды;

ТАБЛ. 4. ОПИСАНИЕ КОМПОНЕНТОВ КВ

| Компонент КВ | Описание компонента КВ |
|--|--|
|  | <p>Обычный компьютер, генерирующий данные для КВ и принимающий результаты вычисления от КВ</p> |
| <p>Преобразователь цифрового сигнала в световой</p>  | <p>Преобразователь цифровых данных от компьютера в световые данные, поступающие на вход КВ (далее ЦСП)</p> |
| <p>Преобразователь светового сигнала в цифровой</p>  | <p>Преобразователь световых данных от КВ в цифровые данные, возвращаемые на компьютер после вычислений (далее СЦП)</p> |

| Компонент КВ | Описание компонента КВ |
|---|---|
|  | <p>Информационная шина (далее ИШ) и данные, передаваемые по ней</p> |
|  | <p>Входной Кристалл и направление вектора поляризации на входах</p> |
|  | <p>Анализатор пропускающий свет с углами поляризации от 0 до 45 градусов. На выходе излучает свет с поляризацией 0 градусов</p> |
|  | <p>Анализатор пропускающий свет с углом поляризации 0 градусов. На выходе излучает свет с поляризацией 0 градусов</p> |
|  | <p>Анализатор пропускающий свет с углом поляризации 45 градусов. На выходе излучает свет с поляризацией 45 градусов</p> |
|  | <p>Анализатор пропускающий свет с углом поляризации 90 градусов. На выходе излучает свет с поляризацией 90 градусов</p> |
|  | <p>Световод, по которому свет распространяется</p> |
|  | <p>Световод, по которому свет не распространяется</p> |
|  | <p>Группа элементов КВ, образующих КУ (см. Ошибка! Источник ссылки не найден.)</p> |

| Компонент КВ | Описание компонента КВ |
|---|---|
|  | Группа элементов КВ, образующих КС (см. Рис. 2) |

4. С выходов КУ световые данные передаются на соответствующие группы КС, с выходов которых световые данные передаются на входы СЦП. Входы СЦП имеют следующее назначение (сверху вниз) и показаны в Табл. 5.

ТАБЛ. 5. НАЗНАЧЕНИЕ ВХОДОВ СЦП

| Номер входа СЦП | Назначение входа |
|-----------------|-----------------------------------|
| 1 | Элемент 11 результирующей матрицы |
| 2 | Разряд переполнения элемента 11 |
| 3 | Элемент 12 результирующей матрицы |
| 4 | Разряд переполнения элемента 12 |
| 5 | Элемент 21 результирующей матрицы |
| 6 | Разряд переполнения элемента 21 |
| 7 | Элемент 22 результирующей матрицы |
| 8 | Разряд переполнения элемента 22 |

5. В СЦП световые данные преобразуются в цифровые данные и возвращаются по ИШ на компьютер.

Заключение

Список литературы

Об авторах:



Алексей Анатольевич Цветков
Научный сотрудник, Институт
программных систем РАН

e-mail:

alexey_tsvetkov@homail.com

Николай Николаевич Непейвода
Главный научный сотрудник, Ин-
ститут программных систем РАН

e-mail: nnn@nnn.botik.ru

Марк Маркович Хаткевич
Аспирант, Институт программных
систем РАН

e-mail: xatmm@mail.ru