

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ЗАВИСИМОСТИ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ МОЭМС-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Д.т.н. А. И. Филипенко, Е. А. Чалая, М.И. Видешин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В связи со стремительным возрастанием производства МОЭМС, значительно увеличиваются предъявляемые требования к выпускаемой продукции. Поэтому остро стоит вопрос контроля качества исполнения таких элементов.

В статье рассматриваются зависимости направляющей способности оптических компонентов МОЭМС-переключателей при изменении параметров их позиционирования.

У зв'язку зі стрімким зростанням виробництва МОЕМС, значно збільшуються вимоги, що пред'являються до продукції, яка випускається. Тому гостро стоїть питання контролю якості виконання таких елементів.

У статті розглядаються залежності направляючої здатності оптичних компонентів МОЕМС-перемикачів при зміні параметрів їх позиціонування.

Due to the rapid increase in the production of MOEMS, significantly increased requirements to product requirements. Therefore, acute the question of quality control execution of such elements.

The article discusses the dependence of the guiding ability of the optical component MOEMS switches when you change the parameters of their positioning.

Ключевые слова: МЭМС, МОЭМС, актюатор, оптический переключатель, микролинзы, микрооптозеркала, оптическая поверхность, угол отклонения, позиционирование, направляющая способность, метод Монте-Карло.

Актуальность проводимых исследований

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) – одна из наиболее передовых технологий, позволяющая не только значительно улучшить характеристики электронной аппаратуры, но и создавать устройства для решения задач в совершенно новых областях.

МЭМС, которые содержат оптические компоненты, выделяют в отдельную группу – микро-опто-электро-механические системы (МОЭМС), в основном, из-за конструктивных различий, поскольку они требуют наличия прозрачных для света окон в корпусе, использования линз, отражающих зеркал и механизмов перенаправления потоков света, т.е. оптических переключателей [1].

Применение оптических систем, в которых используются поворотные механизмы и переключатели зачастую сопряжено с рядом проблем, которые

существенно влияют на количество вносимых потерь в общий комплекс МОЭМС.

МОЭМС-переключатель и его функции

Волоконно-оптические переключатели предназначены для перераспределения оптической мощности между волоконными световодами под действием электрических сигналов или механического воздействия.

К переключателям таких систем предъявляются следующие требования:

- низкий уровень оптических потерь и перекрестных помех;
- слабая зависимость параметров от паразитных воздействий;
- низкий уровень потребляемой мощности;
- высокая надежность;
- технологичность.

Все волоконно-оптические переключатели можно разделить на две группы:

- механические, в которых перераспределение оптической энергии происходит в результате движения волоконных световодов, зеркал, призм, жидкостей или других элементов;
- оптические, в которых изменение направления оптического луча происходит в результате изменения оптических параметров неподвижной среды распространения излучения.

Переключатели на основе движущихся зеркал, или линз всегда требуют использования коллимирующих элементов (рис. 1, 2) [2].

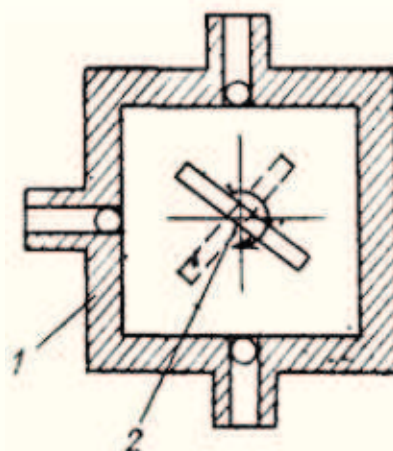


Рис. 1. Механический оптический переключатель с движущимся зеркалом

- 1 – корпус с линзовыми разъёмными соединителями;
2 – вращающееся зеркало

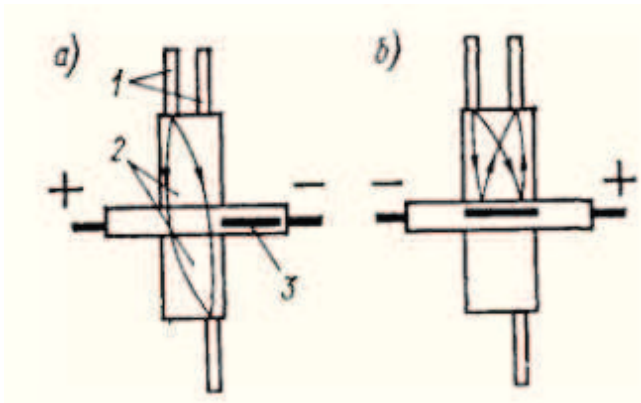


Рис. 2. Оптический переключатель с движущимся в электролите зеркалом

- 1 – волоконный световод;
- 2 – градиентные линзы;
- 3 – ртутное зеркало в электролите

Они имеют параметры, аналогичные параметрам механических переключателей на основе движущихся волоконных световодов.

Недостатком всех механических переключателей является наличие движущихся элементов, что принципиально снижает их надежность и делает чувствительными к внешним воздействиям [3].

Экспериментальные исследования

Эксперимент выполнен для отдельного вида оптических переключателей, в конструкции которого основным отражающим и перенаправляющим элементом являются микролинзы.

Так же такой эксперимент можно выполнить для переключателей у которых отражающим элементом является зеркало с металлическим покрытием.

Проводимое исследование направлено на анализ конструктивно-технологической реализации компонентов оптической системы, таких как микрозеркала, микролинзы, потому что именно они участвуют в функционировании и обеспечении всей системы.

Основной задачей было проследить множество факторов, которые влияют на качество работы таких систем, определить влияние технологических отклонений на механо-оптические характеристики компонентов с целью выявления чувствительности оптической системы в целом на появление потерь, вызванных, собственно, самими микролинзами.

Система состоит из комплекса линз L_1 и L_2 , которые отклоняются по осям OX и OY , на угол от 0° до 15° , с шагом $0,035^\circ$, в трех режимах:

- линза L_1 неподвижна, отклоняется линза L_2 относительно L_1 ;
- линза L_2 неподвижна, отклоняется линза L_1 относительно L_2
- обе линзы отклоняются относительно друг друга.

Общее количество итераций составляет 10000 раз.

С помощью пакета «ANSYS», было промоделировано работу системы, для определения технологических допусков позиционирования массива микролинз с учетом полученных оптических потерь.

Это моделирование демонстрирует подверженность микрооптических систем к влиянию незначительных сдвигов в позициях расположения компонентов.

Эксперимент выполнен с помощью статическо-вероятностного метода Монте-Карло. Такое моделирование представляет собой автоматизированную математическую методику, предназначенную для учета рисков в процессе количественного анализа и принятия решений [4,5].

Каждый раз в процессе выбора направления дальнейших действий моделирование по методу Монте-Карло позволяет специалисту, принимающему решения, рассматривать целый спектр возможных последствий и оценивать вероятность их наступления.

В рамках предложенного метода анализ риска выполняется с помощью моделей возможных результатов.

При создании такой модели любой фактор, которому свойственна неопределенность, заменяется диапазоном значений – распределением вероятностей.

На следующем этапе выполняются многократные расчеты результатов, причем каждый раз используется другой набор случайных значений функций вероятности.

Алгоритм исследования приведен на рисунке 3:

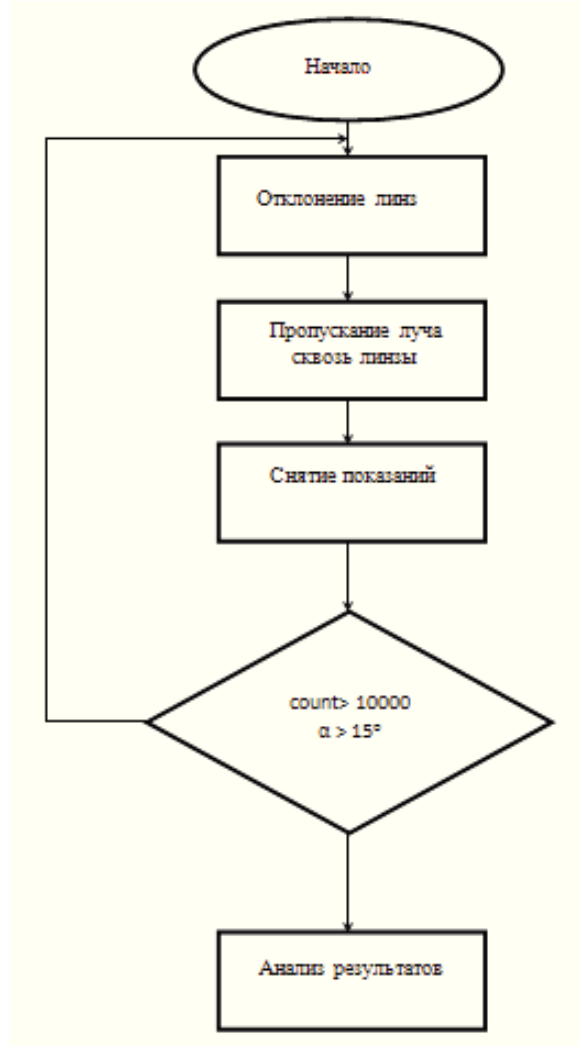


Рис. 3. Алгоритм выполнения эксперимента

Моделирование по предложенному методу Монте-Карло позволяет получить распределения значений возможных последствий в изменении передаваемой мощности в зависимости от технологических смещений.

При использовании распределений вероятностей переменные могут иметь разные вероятности наступления разных последствий. Распределения вероятностей представляют собой гораздо более реалистичный способ описания неопределенности переменных в процессе анализа риска.

В рамках эксперимента, с помощью пакета «ANSYS», было проведено моделирование системы для определения механических допусков позиционирования массивов микролинз с учетом возникающих оптических потерь.

Эта имитация демонстрирует чувствительность микрооптических систем к незначительным смещениям в расположениях компонентов и их технологии производства.

Для моделирования допустимого позиционного смещения на 15° возьмём массив линз размером 850 нм , источники смещения в котором будут идти в направлении оси x на 1 мкм , вызывая тем самым внеосевые «отсечки» между лучом и первой линзой.

В результате «срезывания» в первой линзе приводит к потере мощности в размере $4,53\%$.

Далее свет распространяется на 20 мкм ко второй линзе в результате чего, позиционный допустимый сдвиг луча 1 мкм увеличивается примерно до 40 мкм , что показано на рисунке 4 вместе с примерным размером и позицией второй линзы.

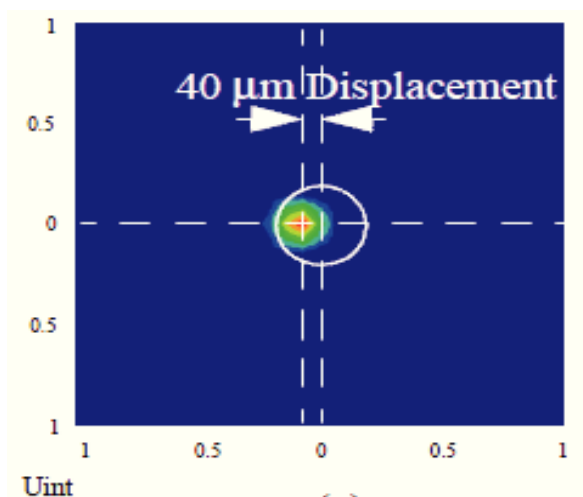


Рис. 4. Позиционное смещение луча

Большая часть луча проходит через вторую линзу при этом $22,6\%$ оставшейся мощности теряется, результатом этого есть внесённые потери для всей системы в размере $26,9\%$.

Даже небольшие механические изменения в одном компоненте могут привести к неблагоприятным явлениям в МОEMS.

Используя предложенный метод Монте-Карло, можно варьировать значения механических параметров каждого компонента в соответствии с распределённой

вероятностью, основанной на производственных допусках механического колебания и теплового расширения.

В процессе анализа с помощью программной среды «ANSYS» были просчитаны характеристики системы, многократно используя случайные значения, соответствующего распределения вероятностей для параметров и получены границы лучших и худших результатов.

По аналогии промоделированы случаи, в которых хотя бы один луч полностью не попадает в детектор (от 6777 до 10000 случаев).

Полученные параметры, после сортировки по минимальным параметрам отклонения внесены в табл.1 (нет мощности №1 и №2).

Таблица 1

Результаты анализа методом Монте-Карло

Параметр	Диапазон	Макс. мощность №1	Макс. мощность №2	Нет мощности №1	Нет мощности №2
Линза 1_x, (мкм)	±1	0.483923	0.792841	0.422470	0.045314
Линза 1_y, (мкм)	±1	0.795798	0.596940	0.080384	-0.41103
Линза 1_p, (°)	±0,05	0.029097	0.042626	-0.02379	-0.01919
Линза 1_θ, (°)	±0,05	0.044562	0.042072	0.023149	0.024634
Линза 2_x, (мкм)	±1	0.792757	-0.64408	-0.43184	0.128980
Линза 2_y, (мкм)	±1	-0.62598	0.938024	0.403542	0.208934
Линза 2_p, (°)	±0,05	-0.03731	0.049612	-0.01259	-0.01689
Линза 2_θ, (°)	±0,05	0.036576	0.020996	0.000738	-0.02780
Расп_x, (мкм)	±1	-0.65508	0.427233	0.009119	-0.16890
Расп_y, (мкм)	±1	-0.43225	-0.93851	0.028665	-0.03107

В случае, когда луч полностью не попадает на детектор, можно сделать вывод, что причиной этого является наклон линз (ρ или θ).

Проанализировав полученные данные, можно заметить, что для большинства параметров смещения прогонов «максимальной мощности №1 и №2» намного больше чем аналогичные в случаях «нет мощности №1 и №2».

Это происходит по причине того, что системные параметры компенсируют друг друга: если одна линза направляет луч за пределы оптического пути, другая возмещает отклонение направляя луч снова на линию.

Выводы

С помощью метода Монте-Карло были проведены моделирующие и тестирующие исследования чувствительности оптической системы к технологическим смещениям, и установлено, что даже минимальные изменения в позиционировании имеют значительное влияние на появление потерь, вызванных микролинзами.

Данный математический метод моделирования целесообразно применять на этапах проектирования и контроля технологии изготовления МОЭМС – переключателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Rebeiz G. *RF MEMS: Theory, Design and Technology [Text]*. – Wiley/IEEE Press, 2003, p. 202–211.

2. Аваев Н.А., Шишкин Г.Г. *Электронные приборы [Текст]: Учебник для вузов/ Под ред. проф. Г.Г.Шишкина. - М.: Изд-во МАИ, 2005 г. -102с*

3. Н.И. Мухуров *Электро-механические микро-устройства/ Н.И. Мухуров, Г.И. Ефремов. Минск «Беларусская наука», 2012. – 259с.*

4. Olsson R. H., Fleming J. G., El-Kady I. F. et al. *Micromachined Bulk Wave Acoustic Bandgap Devices [Text]. – International Conf. on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, June 2007, p.317–321.*

5. Dec, A. *Electro-Mechanically Tunable Capacitors and Their Applications to RF IC's Micromachined [Text] / A. Dec, K. Suyama // IEEE Transactions on microwave theory and techniques. - 2009. - Vol. 46, NO 12. - Pp. 489-492.*

6. Ланцов В.Н. *Состояние в области проектирования микроэлектромеханических систем [Текст] / В. Н. Ланцов, О. В. Рудаков, С.В. Маскеев // Владимир. - 2009. - 31 с.*

УДК.624.315.21

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ СВАРКИ УЛЬТРАЗВУКОМ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ГИБКИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В.В. Невлюдова, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В данной работе рассматривается процесс формирования микросоединений методом сварки ультразвуком при изготовлении гибких печатных плат, проанализировано влияние технологических факторов и конструктивных параметров на механизм образования сварного соединения.

У даній роботі розглядається процес формування мікроз'єднань методом зварювання ультразвуком при виготовленні гнучких друкованих плат, проаналізовано вплив технологічних чинників і конструктивних параметрів на механізм утворення зварного з'єднання.

In this paper the process of making a reliable microbonds by ultrasonic bonding in the flexible-rigid boards manufacture is examined, the influence of technological factors and constructive parameters on the microbonds formation mechanism is analyzed.

Ключевые слова: микросоединение, ультразвук, показатель качества, полиимид, сварка

Введение

При современном развитии радиоэлектронной промышленности и с появлением больших интегральных схем (БИС) и сверхбольших интегральных схем (СБИС) стало очевидно, что прежние методы конструирования и монтажа печатных узлов радиоэлектронных устройств не могут обеспечить выполнение требований, которые предъявляются к ним, те же корпуса БИС и СБИС с

числом выводом более 100 и шагом между ними менее 0,25 мм, поэтому были предложены новые методы, так называемого поверхностного монтажа (SMT, COB, TAB, COF технологии). При поверхностном монтаже элементы располагаются не на штыревых выводах, вставленных в соответствующие отверстия в печатной плате или припаянные к соответствующим лепесткам, а непосредственно к контактным площадкам на печатной плате, сформированнымb токоведущими дорожками, либо для монтажа используются специальные носители, изготовленные из гибких материалов (полиимид, лавсан, полиэфир).

Гибкие печатные платы (ГПП) – в условиях микроминиатюризации изделий современной электронной техники обеспечивают ряд преимуществ при создании электросоединений в приборах как стационарных, так и подвижных конструкций. Устойчивость к перегибам позволяет использовать ГПП в конструкциях радиоэлектронных изделий (РЭИ), позволяющих неоднократно складывать их в книжку или свертывать в рулон. Конструктивно выполняемые по принципу организованных выводов они обеспечивают уменьшение габаритов и веса РЭИ, возможность применения автоматизированных процессов их сборки и монтажа, снижая тем самым трудоемкость технологического процесса и повышая надежность. Все это позволило для РЭИ на основе ГПП найти широкое применение в различных областях: