

УДК 00

Исследование способов создания конденсаторов в технологии КНИ

10, сентябрь 2012

Захаров Е.В.

Научные руководители: к.т.н., доцент Макачук В.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Российская Федерация

Морозов С.А., Соколов С.А.

НИИСИ РАН, Москва, Российская Федерация

МГТУ им. Н.Э. Баумана

bauman@bmstu.ru

Введение

Конденсаторы широко используются в радиоэлектронной аппаратуре для самых различных целей. В технологии «кремний на изоляторе» (КНИ), конденсаторы представляют собой трехслойную структуру, в которой наружные слои формируются из проводящего материала, а внутренний слой – из диэлектрика.

В качестве конденсаторов также может быть использован либо один из электронно-дырочных переходов биполярного транзистора, либо транзисторная структура типа металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). В МДП-структуре роль нижней обкладки конденсатора выполняет область подложки, а роль межслойного диэлектрика играет подзатворный слой двуокиси кремния SiO_2 . Наконец, роль верхней обкладки конденсатора играет слой поликремния.

Помимо сказанного выше существуют разновидности КНИ-технологии, в которых для формирования емкостной структуры используются два слоя поликремния. В них роль обкладок конденсатора выполняют слои поликремния, а роль изолирующего диэлектрика – слой двуокиси кремния, разделяющий оба поликремниевых слоя.

Таким образом, все конденсаторные структуры, которые можно изготовить с помощью технологий микроэлектроники, можно условно разделить на следующие три группы:

Конденсаторы, выполненные с использованием слоев металлизации.

В технологии КНИ наименьшая толщина разделительного диэлектрика у подзатворного окисла и у разделяющего два слоя поликремния диэлектрика. А так как величина емкости конденсатора обратно пропорциональна расстоянию между его обкладками, то конденсаторы, выполненные на МДП структурах и на двух слоях поликремния имеют большую удельную емкость на единицу площади, чем конденсаторы, выполненные на слоях металлизации.

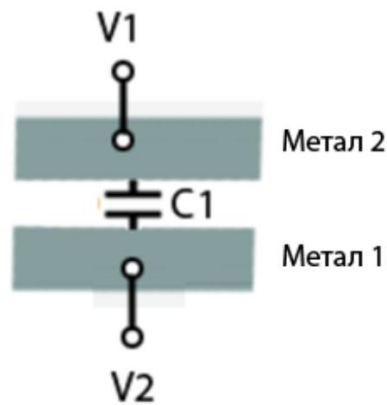


Рис. 1 – Структура конденсатора, выполненного на слоях металлизации.

- 1) Конденсаторы, выполненные на МДП-структурах.

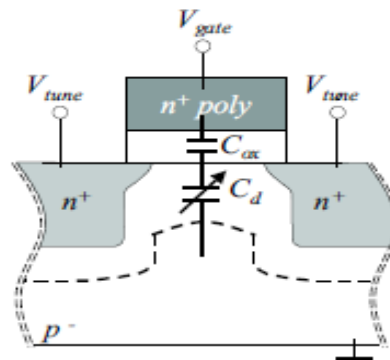


Рис. 2 – Структура конденсатора, выполненного на МДП-структуре.

- 2) Конденсаторы, выполненные на двух слоях поликремния

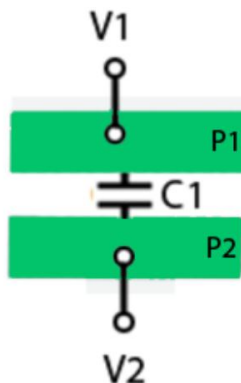


Рис. 3 – Структура конденсатора, выполненного на двух слоях поликремния (P1 и P2).

Емкость конденсаторов, сформированных на слоях металлизации, также как и емкость конденсаторов, выполненных на двух слоях поликремния, практически не зависит от внешнего приложенного напряжения. В отличие от них емкость конденсаторов, выполненных на МДП структурах, сильно зависит от напряжения, приложенного к их обкладкам. Она объясняется тем, что в зависимости от величины внешнего напряжения МДП-структура оказывается либо в подпороговой области, либо в линейной области, либо в области насыщения. При этом в зависимости от состояния МДП-структуры расстояние между зарядами, образующими обкладки конденсатора, будет различным. Именно поэтому конденсаторы на МДП-структурах применяются в генераторах, управляемых напряжением, в качестве варакторов [1].

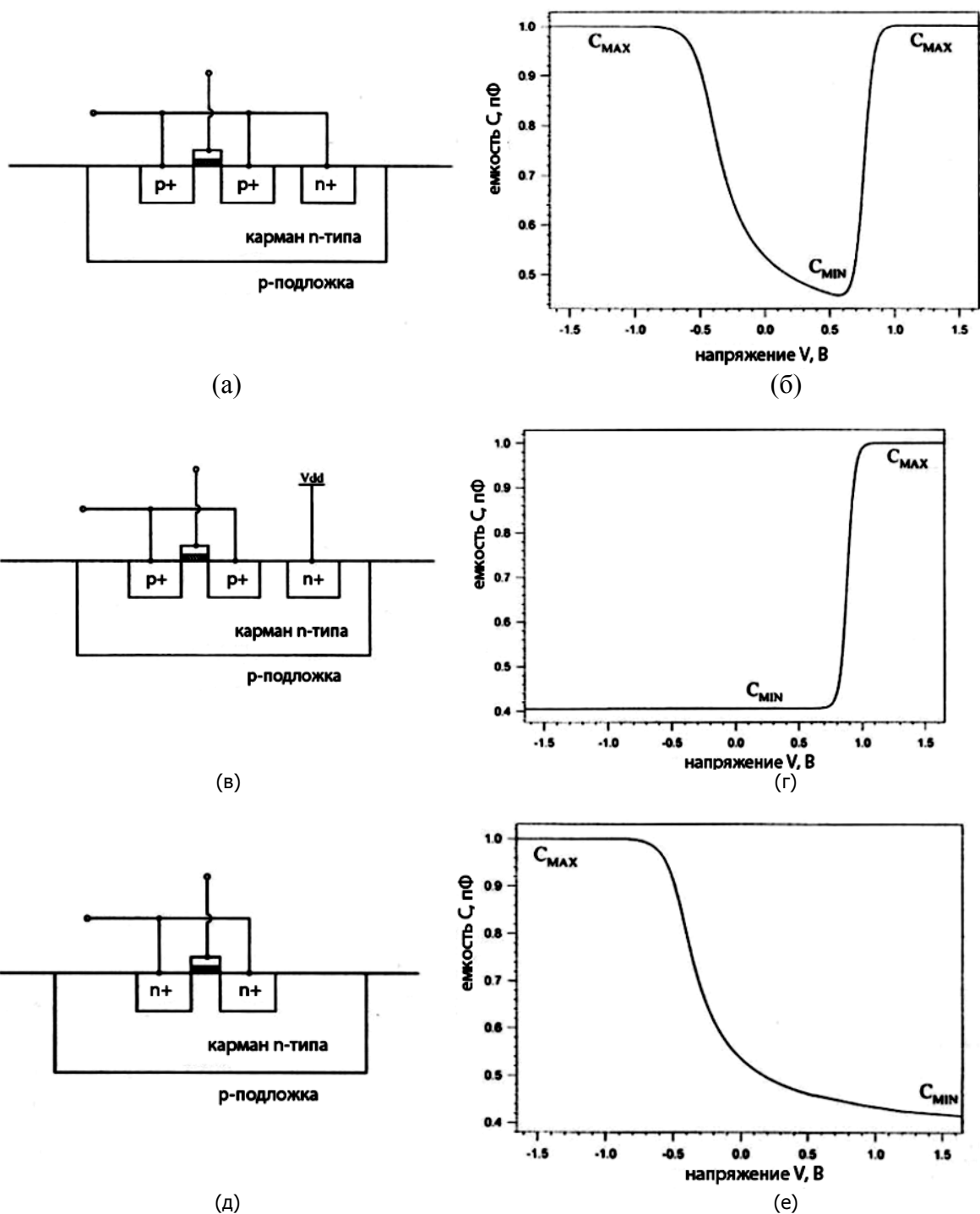


Рис. 4 – C-V кривые (б,г,е) зависимости емкости МДП-структуры при различных схемах включения

Изготовление конденсаторов на двух слоях поликремния связано с дополнительными технологическими сложностями. По этой причине такие структуры целесообразно применять в КНИ технологии, используемой для производства аналоговых схем.

На величину емкости конденсатора, выполненного на МДП-структурах, сильное влияние оказывает схема их включения [2]. Основные схемы включения МДП-структуры в качестве емкости приведены на рисунке 4.

На рисунке 5 представлен результат измерения емкости тестовой МДП-структуры включенной по схеме (д) рисунка 4. При этом площадь тестовой структуры составляла 12485 мкм^2 .

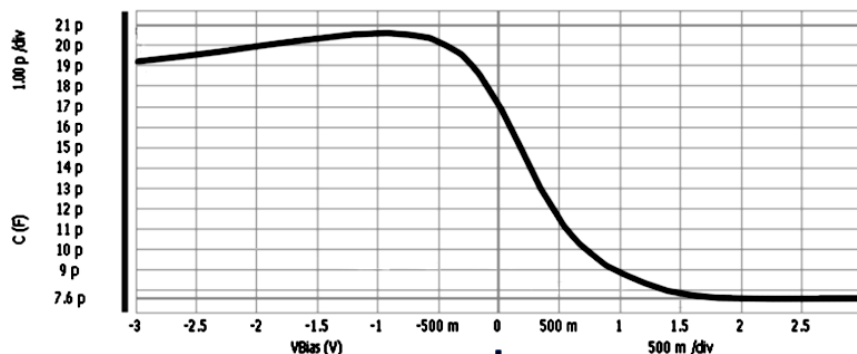


Рис. 5 – Результаты измерения емкости конденсатора тестовой структуры

Как видно из рисунка 5 C-V-характеристика структуры идентична той, которая показана на рисунке 4(е) с той лишь разницей, что в силу погрешности измерений при отрицательных напряжениях максимальное значение емкости не соответствует самому большому отрицательному напряжению.

Для получения симметричной характеристики изменения емкости конденсатора в зависимости от приложенного между его обкладками напряжения применяют параллельное соединение двух конденсаторов, выполненных на МДП-транзисторах с дополняющими типами проводимости канала. На рисунке 6 приведены результаты измерения емкости такого конденсатора.

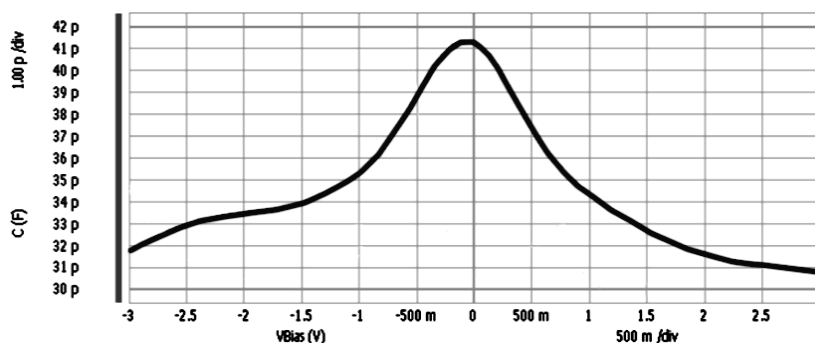


Рис. 6 – Результаты измерения емкости конденсатора тестовой структуры, выполненной на МДП-транзисторах с дополняющими типами проводимости каналов

Для увеличения удельного значения емкости конденсатора на единицу площади возможно применение следующих методов:

1) использование «гребенчатой» структуры.

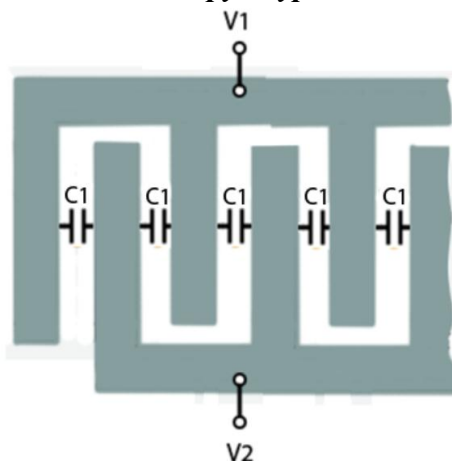


Рис. 7 – Схема конденсатора «гребенчатой» конструкции

2) создание многослойных конденсаторов.

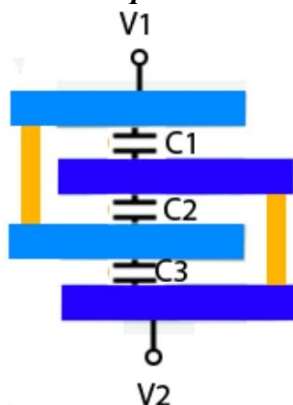


Рис. 8 – Конструкция многослойного конденсатора, выполненного на слоях металлизации

На рисунке 7 изображен конденсатор «гребенчатой» конструкции, изготовленный на одном слое металла. В таком конденсаторе емкость будет возникать между соседними боковыми гранями металлической пленки, которые в данном случае выступают в роли обкладок конденсатора. По этой причине суммарная емкость в таком конденсаторе будет пропорциональна площади контакта между соседними гранями. При этом уменьшение ширины слоя металлизации, не изменяя емкости конденсаторной структуры, позволяет уменьшить занимаемую им площадь. Сокращение же расстояния между металлическими гранями позволяет одновременно и уменьшить занимаемую им площадь и увеличить его емкость. По этой причине данный метод наиболее эффективен в случае изготовления конденсатора по минимальным проектным нормам.

Другой способ увеличения удельной емкости конденсатора показан на рисунке 8. В многослойном конденсаторе слои соединяются попарно, что соответствует параллельному соединению отдельных конденсаторов, в результате чего их емкости будут складываться. По этой причине использование нескольких слоев металлизации дает очевидное увеличение удельной емкости конденсатора на единицу площади.

Для оценки эффективности использования конденсаторов обоих типов были изготовлены тестовые образцы указанных структур и проведены измерения их емкости. Обе структуры на кристалле имели одинаковые площади. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения емкости конденсаторных структур различной конструкции

		Гребенчатая конструкция	Сплошная конструкция
Среднее значение емкости конденсатора, выполненного на слоях металлизации		3,95 пФ	1,495 пФ
Емкость конденсатора, выполненного на МДП-структуре	минимальная	32,9 пФ	31,8 пФ
	максимальная	48,2 пФ	41,2 пФ

Как видно из таблицы 1 для конденсаторов, выполненных на слоях металлизации, применение гребенчатой конструкции дает увеличение удельного значения емкости более чем в 2 раза. В то время как для конденсаторов, выполненных на МДП-структурах, гребенчатая конструкция позволяет повысить удельное значение емкости в среднем только на 15%.

Заключение

Рассмотрены возможные конструкции конденсаторных структур, реализуемых по технологии КНИ. Показаны способы увеличения их емкости. Представлены результаты измерения тестовых структур конденсаторов различной конструкции, по результатам которых можно сделать выводы о целесообразности применения конденсаторов гребенчатой конструкции на МДП-структурах, как имеющих самую большую удельную емкость.

Литература

1. Inigo Gutierrez, Juan Meléndez and Erik Hernández, Varactors and inductors for integrated RF circuits in standard MOS technologies, 2002, Universitat Der Bundeswehr Munchen, 168p.
2. R.L. Bunch, S.Raman. Large-Signal Analysis of MOS Varactors in CMOS –Gm LC VCOs, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.38, №.8, AUGUST 2003, pp.1325-1332