

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЭКСТРАКЦИИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ МОП-ТРАНЗИСТОРА

ABSTRACT: Parameter extraction task means determining of MOS-transistor model parameters using measured characteristics. In this paper we propose methodology to extract main MOS-transistor model parameters and creates modified SPICE level 1 model. The concept of the extraction methodology and simulation results are presented.

Построение модели МОП-транзистора начинается с экстракции порогового напряжения  $V_{th}$ , которое является основным параметром, обеспечивающим адекватное описание электрических характеристик прибора.

Существует ряд методов определения, т.е. экстракции, порогового напряжения МОП-транзистора по измеренным вольтамперным характеристикам (ВАХ).

В данной работе используется метод изменяющейся крутизны [1]. Указанный метод описывает напряжения отпираания  $V_{th}$ , как напряжение на затворе  $V_{gs}$ , при котором вторая производная  $g_{m2}$  тока стока  $I_d$  по напряжению на затворе  $V_{gs}$  максимальна.

Выбранный метод модифицирован для повышения его устойчивости к разбросу измеренных данных. Для этого использовалась интерполяция измеренных данных, что обеспечило гладкость кривой и минимальное среднеквадратичное отклонение аппроксимирующих значений от экспериментальных данных.

В качестве метода интерполяции использовалась полиномиальная аппроксимация по алгоритму наименьших квадратов (полиномиальная регрессия).

Такой способ не требует больших вычислительных затрат и обеспечивает высокую точность определения порогового напряжения. Оптимальный (в смысле наименьшей относительной погрешности) порядок аппроксимирующего полинома определялся экспериментально и был выбран равным 8.

Погрешность определения порогового напряжения не превышает 4 % при разбросе экспериментальных данных до 10%.

Вторым параметром, определяемым при решении задачи экстракции, является удельная ёмкость оксида кремния  $C_{ox}$ . Значение этого параметра можно вычислить, опираясь на данные производителем транзистора технологические параметры: отношение диэлектрической постоянной оксида кремния и толщины оксида:

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{TOX} \quad (1)$$

Далее определяется параметр подвижности электронов МОП-транзистора  $\mu_{eff}$  - эффективная подвижность. В простейшей модели МОП-транзистора SPICE эффективная подвижность является константой, а ток стока аппроксимируется с помощью следующего соотношения:

$$I_d = \mu_{eff} \cdot C_{ox} \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{gs} - V_{TH} - \frac{V_{ds}}{2}) \cdot V_{ds} \quad (2)$$

Далее рассматриваем (2), как уравнение относительно эффективной подвижности  $\mu_{eff}$ . Известны значения измеренных токов ВАХ, пороговое напряжение и удельной ёмкости оксида кремния. Решаем данное уравнение и получаем ряд значений эффективной подвижности, каждое из которых соответствует определённому напряжению на затворе  $V_{gs}$  (току стока  $I_d$ ):

$$\mu_{eff}(i) = \frac{I_d(i)}{V_{ds}} \cdot \frac{L}{W} \cdot \frac{1}{C_{ox} \cdot (V_{gs}(i) - V_{th} - \frac{V_{ds}}{2})}$$

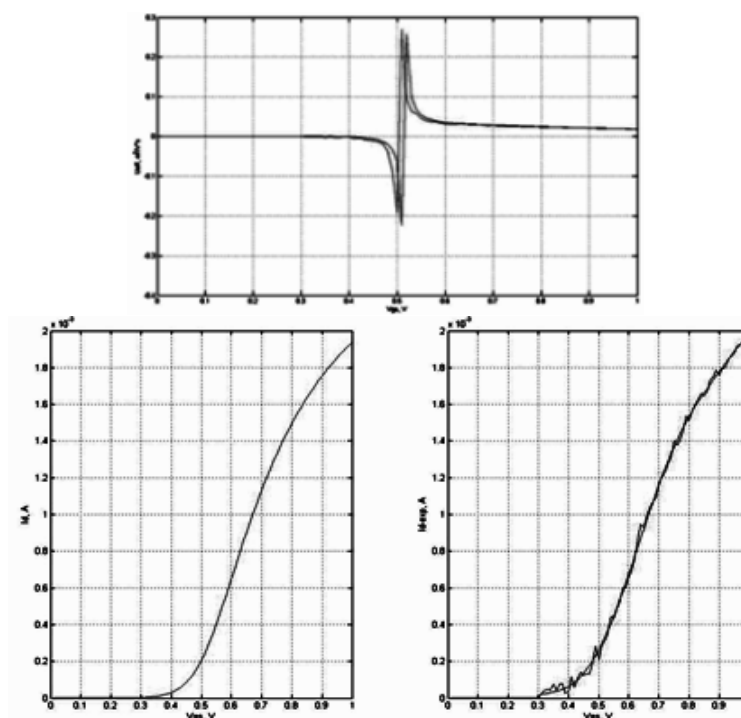


Рис. 1. Результаты экстракции эффективной подвижности носителей и моделирования передаточной характеристики МОП-транзистора для двух случаев: без разброса и с учётом разброса экспериментальных данных

Вычисленные по формуле значения эффективной подвижности представляются как зависимость подвижности носителей от затворного напряжения. Такой подход к экстракции параметров называется локальной оптимизацией [2]. В этом случае особую роль играют условия, при которых был проведён эксперимент, а именно: напряжение смещения на электродах транзистора, так как они определяют основные физические процессы в приборе. Параметры модели транзистора, экстрагированные по соответствующей методике, могут не совпадать полностью с экспериментальными данными при всех возможных условиях смещения, но, если условия смещения близки к тем, при которых проводились измерения, то результаты моделирования транзистора и измерений по постоянному току будут близки. Результаты экстракции подвижности носителей и моделирования транзистора по постоянному току согласно (2) приведены на рис. 1.

Таким образом, на основе результатов экстракции основных параметров сформирована модифицированная SPICE модель МОП-транзистора. Все алгоритмы разработаны для двух случаев: без разброса и с учётом разброса экспериментальных данных. При сравнении рассчитанных зависимостей с экспериментальными данными наблюдается хорошее согласование: среднеквадратичное отклонение результатов моделирования от результатов измерений не превышает 5%. Работа выполнялась во время стажировок в Институте интегральных микросхем им. Фраунгофера, г. Эрланген, Германия в течение лета 2006 г. и лета 2007 г.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. W.Y.Choi, H.Kim, B.Lee, J.D.Lee, B.-G.Park, IEEE Trans. Electron Devices, vol. 51, NO. 11, pp. 1833 – 1839, November 2004.
2. B.El-Kareh, W.R.Tonti, S.L.Titcomb, IBM J. Res. Develop., vol. 34, NO. 2/3 March – May, 1990.