

ных решеток по глубине гофра и зависимости порогового коэффициента усиления от толщины пленки РОС-лазера.

Проведенные эксперименты по гашению генерации ТЛИ излучением другого ТЛИ показали возможность эффективного гашения генерации внешним излучением на длине волны, значительно отличающейся от длины волны генерации как в сторону длинных, так и в сторону коротких длин волн, что практически подтверждает работоспособность двухчастотного лазерного инвертора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дерюгин Л. Н., Колбин И. И., Овчаренко О. И., Черемискин И. В., Чехлова Т. К. Исследование тонкопленочного лазерного логического элемента на родамине 6Ж.—*Изв. вузов—Радиоэлектроника*, 1980, 23, № 8, с. 70.
2. Шеронов А. А. Эффект гашения в оптически связанных инжекционных лазерах на GaAs—ФТП, 1969, 3, № 3, с. 368.
3. Баранова Л. И., Лукьянов В. Н., Семенов А. Т., Шелков Н. В., Якубович С. Д. Исследование тонкопленочного решеточного фильтра при наклонном падении излучения.—*Квантовая электроника*, 1977, 4, № 9, с. 12025.
4. Flanders D. C., Kogelni K. H., Schmidt R. V., Shank C. V. Grating filters for thin film optical waveguides.—*Appl. Phys. Lett.*, 1974, 24, p. 194.
5. Дерюгин Л. Н., Колбин И. И., Черемискин И. В. Гашение генерации РОС-лазера излучением сверхлюминесценции.—*Изв. вузов—Радиоэлектроника*, 1978, 21, № 7, с. 104.
6. Рубинов А. Н., Ричардсон М. Ч., Алкок А. Д. Скоростные развертки спектров люминесценции растворов родамина 6Ж и 6 возбуждаемых ультракороткими лазерными импульсами.—*Квантовая электроника*, 1975, 2, № 8, с. 1681.

Поступило в редакцию 9 II 1981 г.

УДК 621.382.82.993

П. П. УРБАНОВИЧ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ КОДОВ В БОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Увеличение степени интеграции больших интегральных схем запоминающих устройств (БИС ЗУ) вызывает уменьшение выхода годных (ВГ), что, в свою очередь, увеличивает стоимость ЗУ. Низкий ВГ обуславливается дефектами, имеющимися в исходных заготовках и возникающими в процессе изготовления БИС ЗУ. Увеличения ВГ можно достичь, используя новые принципы обработки и хранения информации, когда отказ (дефект) определенного числа элементов схемы ЗУ не приводит к искажению хранящейся информации [1].

К настоящему времени предложено довольно большое число методов, позволяющих использовать кристаллы БИС ЗУ с дефектами [2]. Наиболее перспективным является метод, основанный на применении корректирующих кодов с введением в схему базового ЗУ избыточных запоминающих и логических элементов и позволяющий существенно повысить ВГ и надежность, а значит и уменьшить стоимость БИС ЗУ.

В работах [3—5] рассматривалась задача отыскания закономерностей, позволяющих определить стоимость ЗУ с учетом ВГ полупроводниковых кристаллов, их площади, среднего числа дефектов исходных заготовок и дефектов фотолитографии, стоимости сборки и герметизации кристаллов.

В данной статье сравнивается стоимость избыточных и безыбыточных БИС ЗУ, выполняющих одинаковые функции и изготовленных по одной и той же технологии. Будем считать, что стоимость безыбыточного ЗУ определяется выражением [3]

$$C = (C_{пл}/NY_1 + C_{сб})/Y_2, \quad (1)$$

где C — общая стоимость ЗУ; $C_{пл}$ — стоимость обработанной пластины, включающая стоимость самой пластины $C_{с1}$ и стоимость ее обработки $C_{обр}$; $C_{сб}$ — стоимость сборки ЗУ; Y_1 — ВГ после основных операций обработки пластины; Y_2 — ВГ из сборочных операций; N — число кристаллов на пластине. Для кристаллов, у которых $S < 30 \text{ мм}^2$, справедливо $C_{с1}/C_{сб} < 1$ [4]. С учетом этого (1) можно записать, как

$$C = (K + Y_1N)/Y_1Y_2NC_{сб}, \quad (2)$$

где $K = C_{обр}/C_{сб}$; для БИС ЗУ, выполненных по биполярной технологии, $K = 0,8$; по МОП-технологии — $K = 0,25$.

Поскольку технологический процесс изготовления избыточного и безыбыточного ЗУ одинаков, то при переходе к расчету стоимости избыточного устройства будем считать, что для сравниваемых типов БИС ЗУ параметры K и $C_{об}$ неизменны. Но избыточные схемы увеличивают площадь базового кристалла в β раз, т. е. $S' = \beta S$ (β назовем коэффициентом увеличения площади кристалла). Стоимость избыточного ЗУ будет равна

$$C' = (K + Y_1'N')/Y_1'Y_2'N'C_{об}, \quad (3)$$

где Y_1' , Y_2' , N' — новые значения соответствующих (1) параметров.

Отношение стоимостей безыбыточного C и избыточного C' ЗУ, учитывая $N' = \beta N$, соответствует следующему выражению:

$$C/C' = (K + Y_1N)Y_1'Y_2'/\beta(K + Y_1'N')Y_1Y_2. \quad (4)$$

Следя [3], считаем процесс производства функционирующей БИС ЗУ состоящим из двух этапов: технологического и сборочного, с соответствующими им значе-

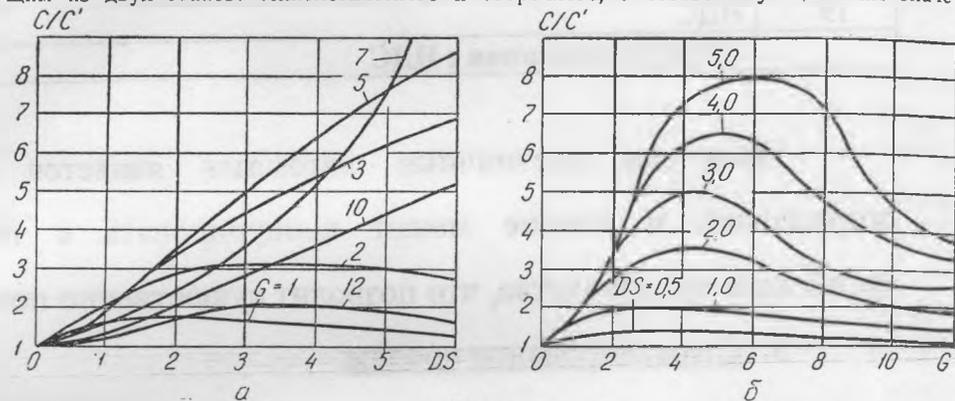


Рис. 1.

ниями ВГ: Y_1 и Y_2 . Общий выход годных $Y = Y_1Y_2$. Из этого следует, что $Y_2 = Y/Y_1$ ($Y_2' = Y'/Y_1$) и (4) можно переписать в виде

$$C/C' = (K + Y_1N)Y'/\beta(K + Y_1'N')Y. \quad (5)$$

При определении ВГ Y_1 для операций формирования кристалла (обработка пластины) во внимание принимаются площадь S , плотности дефектов процесса фотолитографии D_T и кристаллической структуры кремния D_c (учитываются дефекты, приводящие к отказу элементов схемы). Из нескольких возможных способов определения плотности дефектов простейшим является решение уравнения, базирующегося на статистических данных Бозе — Эйнштейна [5]. Этот метод и использован в данной работе. Для полного цикла изготовления пластины с функционирующими кристаллами, включающего n ($n=4-10$) шагов обработки,

$$Y_1 = 1/(1 + D_T S)^n (1 + D_c S). \quad (6)$$

Для избыточного ЗУ площадью βS (6) переписывается в виде

$$Y_1' = 1/(1 + D_T \beta S)^n (1 + D_c \beta S). \quad (7)$$

Используя [6, 7], запишем

$$Y = \alpha \exp(-DS), \quad (8)$$

где α — константа, зависящая от метода и качества производства БИС ЗУ; $D = D_T + D_c$ [4].

Избыточные схемы корректируют возникающие дефекты. Это позволяет бракованные кристаллы считать функционально годными и использовать их наравне с полностью годными. Таким образом, значительно повышается общий ВГ, подчиняющийся закону Пуассона [6]

$$Y' = \alpha \sum_{z=0}^G \{[(D\beta S)^z \exp(-D\beta S)]/z!\}, \quad (9)$$

где G — число корректируемых дефектов. Для безыбыточного ЗУ $z=0$, $\beta=1,0$ и (9) соответствует (8). Подставляя теперь (6), (7), (8), (9) в (5), получим оконча-

тельное выражение для вычисления эффективности введения на кристалл БИС ЗУ избыточных схем.

На рис. 1, а в соответствии с (5), показано, во сколько раз может уменьшиться стоимость избыточной биполярной ($K=0,8$) БИС ЗУ по сравнению с безыбыточной в зависимости от качества технологического процесса и площади кристалла, обозначенных обобщенным параметром DS , при различном числе исправляемых дефектов G . Число операций фотолитографии $n=10$. На рис. 1, б приведены зависимости $C/C' = f(G)$ для разных значений DS .

В расчетах принято, что при исправлении одного отказа $\beta=1,10$, двух — 1,12, трех — 1,14 и т. д. Такое упрощение основано на имеющихся сведениях о создании зарубежными фирмами БИС ЗУ с избыточностью [7]. В этих устройствах для коррекции двух отказов площадь кристалла под избыточные схемы увеличилась на 2%, в других случаях — еще больше [8]. Вообще характер зависимости $\beta=f(G)$ не исследован. Считают, что β определяется типом технологии производства ЗУ (МОП, биполярная и др.) и используемым методом коррекции. Так что принятое ограничение на β не противоречит практическим результатам.

Из рис. 1, а и б следует, что для разного уровня технологического процесса эффективность применения корректирующих кодов связана с числом исправляемых отказов. Так, если для отлаженного техпроцесса ($DS < 1$) наиболее эффективно корректировать лишь одиночные и двойные дефекты, то при ухудшении качества производства кристаллов ($DS > 1$) наибольший эффект достигается коррекцией 3—5 отказов. Кроме того, для каждого значения обобщенного параметра DS существует оптимальное число дефектов G_{opt} , при исправлении которых достигается максимальный эффект. С уменьшением числа операций фотолитографии n (БИС ЗУ изготавливаются по другой технологии) применение избыточности приводит к еще большему эффекту [5].

Таким образом, использование корректирующих кодов в БИС ЗУ позволяет в несколько раз снизить стоимость последних. Для кристаллов площадью меньше 30 мм² эффект применения избыточности не зависит от стоимости полупроводниковой пластины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васенков А. А., Сретенский В. Н., Федотов Я. А. Три проблемы электроники твердого тела.— В сб.: «Микроэлектроника и полупроводниковые приборы». М., «Советское радио», 1977, вып. 2, с. 3—19.
2. Култыгин А. К., Зосимова И. А. Некоторые схемные методы повышения выхода годных БИС и надежности полупроводниковых запоминающих устройств.— В сб.: «Микроэлектроника», Под ред. А. А. Васенкова. М., «Советское радио», 1975, вып. 8, с. 184—195.
3. Валиев К. А. и др. О выходе годных полупроводниковых интегральных схем и их стоимости.— В сб.: «Микроэлектроника», Под ред. Ф. В. Лукина. М., «Советское радио», 1969, вып. 3, с. 26—41.
4. Köhler E. Zusammenhang zwischen Scheibendurchmesser, Chipfläche, Integrationsgrad, Ausbeute und Kostenanteilen bei LSI—Schaltungen.— «Nachrichtentechnik — Elektronik», 27 (1977), H. 8, s. 327—331.
5. Cunningham J., Jaffe J. Insight into RAM costs aids memory—system design.— «Electronics», 1975, 48, 25, p. 101—103.
6. Hilberg W. Einfache mathematische Modelle für die Ausbeute bei integrierten Schaltungen insbesondere bei Halbleiterspeichern.— «Electronische Rechenanlage». 1972, 14, H. 2, s. 67—75, H. 3, s. 134—142.
7. Сад Р., Харди К. Повышение быстродействия статических ЗУПВ.— «Электроника», 1980, 53, № 20, с. 25—34.
8. Паса Дж. Применение избыточности в полупроводниковых ЗУ большой емкости.— «Электроника», 1980, 53, № 26, с. 76—78.

Поступило в редакцию 2 II 1981 г.,
после переработки 28 IV 1981 г.

УДК 621.382

В. И. ПЕРФИЛЬЕВ, В. Н. ДЕТИНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ УМНОЖИТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ НА ВАРАКТОРЕ С РЕЗКИМ $p-n$ -ПЕРЕХОДОМ

В предлагаемой работе проведен расчет модуляционных коэффициентов эластанса варактора, работающего в режиме автосмещения, при котором переменное напряжение на $p-n$ -переходе достигает порога открывания, но не превышает его. Это поз-