

## Прецизионное травление тонких легированных слоев кремния

А. Ю. Боровкова, Т. Н. Гришина, Е. С. Матюхина

*Проведен выбор состава травителя для прецизионного удаления тонкого высоколегированного геттерирующего слоя кремния. Наиболее контролируемый процесс удаления обеспечивает травитель состава  $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH} = 40:1:1$ . Он позволяет при полном травлении геттерирующего слоя сохранить требуемую толщину контактного слоя, предотвращающего выход области объемного заряда  $p$ - $n$ -перехода на тыльную поверхность базы фоточувствительного элемента, обеспечивая тем самым снижение величины темновых токов и увеличение процента выхода годных изделий.*

*Ключевые слова:* кремний, геттерирующий слой, травитель.

### Введение

В процессе изготовления кремниевых  $p$ - $i$ - $n$ -фоточувствительных элементов (ФЧЭ) возникает необходимость контролируемого травления тонкого высоколегированного геттерирующего слоя кремния, расположенного на тыльной стороне пластины.

Рассмотрим упрощенную структуру ФЧЭ, представленную на рис. 1. В качестве исходного материала для изготовления ФЧЭ используется высокочистый кремний  $p$ -типа проводимости с удельным сопротивлением 15–40 кОм см. На рабочей стороне пластины располагается фоточувствительная площадка  $n^+$ -типа проводимости с защитной пленкой двуокиси кремния. На тыльной стороне пластины – контактный слой  $p^+$ -типа проводимости толщиной, примерно равной (7–8) мкм, и геттерирующий слой  $n^+$ -типа проводимости, толщина которого не превышает 3 мкм.

Уровень легирования контактного слоя и его толщина выбираются из условий обеспечения омического контакта к базе ФЧЭ и предотвращения выхода области объемного заряда  $p$ - $n$ -перехода (ОПЗ) на тыльную поверхность кристалла, где высока скорость поверхностной комбинации, которая определяет величину темнового тока ФЧЭ [1]. Геттерирование осуществляется с помо-

щью слоя с нарушенной кристаллической структурой, создающегося диффузионным легированием фосфора до концентрации, близкой к предельной растворимости в кремнии (величина поверхностного сопротивления составляет 2,5–3 Ом/кВ) [2–4]. В дальнейшем этот слой  $n^+$ -типа проводимости должен быть удален до контактного слоя  $p^+$ -типа проводимости для формирования омического контакта к базе ФЧЭ.

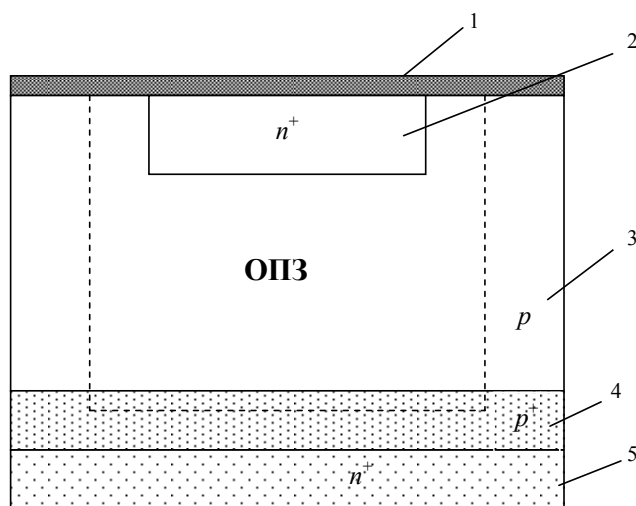


Рис. 1. Структурная схема  $p$ - $i$ - $n$ -ФЧЭ: 1 – пленка двуокиси кремния, 2 – фоточувствительная площадка, 3 – пластина высокоомного кремния, 4 – тыльный контактный слой, 5 – геттерирующий слой.

Боровкова Алла Юрьевна, ведущий инженер-технолог.

Гришина Татьяна Николаевна, главный специалист.

Матюхина Елена Сергеевна, инженер-технолог.

АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 22 марта 2017 г.

© Боровкова А. Ю., Гришина Т. Н., Матюхина Е. С., 2017

Использование для этой цели стандартных травителей, применяемых для химико-динамической полировки поверхности кремния, затруднено, так как скорость травления в них велика. Например, скорость травления кремния в смеси  $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH} = 4:2:1$  составляет примерно 20–30 мкм/мин [5], т. е. этот процесс практически

не контролируем. Существует вероятность полного удаления не только геттерирующего слоя, но и контактного, и, как следствие, возможен выход ОПЗ на тыльную сторону базы ФЧЭ. В результате возможно резкое возрастание темнового тока ФЧЭ.

Ситуация осложняется еще и тем, что при большой концентрации легирующей примеси скорость химической реакции может возрастать из-за увеличения концентрации структурных дефектов, возникающих при введении примеси [6].

Известно [7, 8], что с увеличением содержания азотной кислоты в травителе скорость травления кремния уменьшается, так как скорость окисления поверхности будет превосходить скорость растворения оксида кремния.

Целью данной работы было проведение выбор оптимального состава травителя и определение рационального режима прецизионного удаления высоколегированных слоев кремния.

### Эксперимент

Для отработки процесса травления были изготовлены образцы на основе пластин высокоомного кремния с удельным сопротивлением 30–40 кОм см, в которых был сформирован контактный слой  $p^+$ -типа проводимости толщиной порядка 10 мкм. Поверхностное сопротивление слоя составляло 50–70 Ом/кв. Затем в образцах формировался геттерирующий слой  $n^+$ -типа проводимости методом диффузионного легирования фосфором. Поверхностное сопротивление слоя составляло 2,5–3 Ом/кВ., толщина – ~ 3 мкм.

Для удаления геттерирующего слоя были опробованы травители с различным соотношением объемных частей  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Окончание травления определялось по измерению типа проводимости поверхности образца, т. е. геттерирующий слой считался удаленным, если тип проводимости был – « $p$ ». Затем измерялось поверхностное сопротивление оставшегося контактного слоя. Результаты представлены в табл. 1.

Как следует из приведенных данных, скорость травления легированных слоев превышает скорости травления кремния из известных литературных данных. Травление в травителях составов № 2 и № 3 наряду с удалением геттерирующего слоя приводит к глубокому подтравливанию контактного слоя, о чем свидетельствует его величина поверхностного сопротивления. Наиболее контролируемый процесс удаления геттерирующего слоя дает травитель состава № 3.

По результатам эксперимента были изготовлены 2 партии ФЧЭ на кремниевых пластинах с удельным сопротивлением 30–40 кОм см по методу, включающему в себя вышеописанные операции. Удаление геттерирующего слоя у первой партии пластин проводилось в травителе состава № 1, у второй – № 3. После формирования металлических контактов к областям ФЧЭ проводилось разделение пластин на кристаллы и сборка ФЧЭ в корпус. Затем определялся процент выхода годных ФЧЭ по величине измеренных темновых токов при рабочем напряжении 200 В. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты подбора травителя и режима травления

| № п/п | Состав травителя (объемные части)                          | Скорость травления кремния, мкм/мин [5] | Время травления геттерирующего слоя, сек | Поверхностное сопротивление контактного слоя, Ом/кв. |
|-------|--|---|--|--|
|       | $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH}=\text{---}$ |   |  |  |
| 1     | 10 : 1 : 1   | 3,5                                     | 20–30                                    | Превышает верхний предел измерения прибора           |
| 2     | 20 : 1 : 1   | 2,5                                     | 50–60                                    | 700–800  |
| 3     | 40 : 1 : 1   | 1,0                                     | 100–120                                  | 180–220  |

Таблица 2

Результаты испытаний ФЧЭ

| Номер партии ФЧЭ | Время травления, с | Поверхностное сопротивление контактного слоя, Ом/кв. | Плотность темнового тока, нА/мм <sup>2</sup> | % выхода годных ФЧЭ |
|------------------|--------------------|--|--|---------------------|
| 1                | 20                 | Превышает верхний предел измерений прибора           | 10–50  | 15                  |
| 2                | 100                | 180–200  | 3–5  | 70                  |

Приведенные данные свидетельствуют о том, что удаление геттерирующего слоя в травителе состава № 1 приводит к большому подтравливанию контактного слоя, делая вероятным выход ОПЗ на тыльную сторону базы и, как следствие, к увеличению темновых токов ФЧЭ и снижению процента выхода годных элементов. Травитель состава № 3 обеспечивает прецизионное удаление геттерирующего слоя, сохраняя требуемую толщину контактного слоя для формирования ФЧЭ с низким уровнем темнового тока.

### Заключение

Проведен выбор оптимального состава травителя для прецизионного удаления тонкого высоколегированного геттерирующего слоя кремния. Наиболее контролируемый процесс удаления обеспечивает травитель состава  $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH} = 40:1:1$ . Он позволяет при полном стравливании геттерирующего слоя сохранить требуемую толщину контактного слоя, предотвращающего выход области объемного заряда  $p$ - $n$ -перехода на тыль-

ную поверхность базы фоточувствительного элемента, обеспечивая тем самым снижение величины темновых токов и увеличение процента выхода годных изделий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – М.: Энергия, 1977.
2. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. – М.: Мир, 1984.
3. Зарубежная электронная техника. 1983. № 11. С. 43.
4. Будтолаев А. К., Евлентьев И. А., Либерова Г. В., Сиваченко С. Д., Степанюк В. Е. // Прикладная физика. 2015. № 6. С. 62.
5. Луфт Б. Д. (ред). Физико-химические методы обработки поверхности полупроводников. – Москва: 1982.
6. Королев М. А., Крупкина Т. Ю., Ревелева М. А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. Часть 1. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.
7. Запорожский В. П., Лапшинов Б. А. Обработка полупроводниковых материалов. – М.: Высшая школа, 1988.
8. Полтавцев Ю. Г., Князев А. С. Технология обработки поверхностей в микроэлектронике. – Киев: Техника, 1990.

PACS: 81.05.-t

## Precision etching the thin doped silicon layers

A. Yu. Borovkova, T. N. Grischina, and E. S. Matyuhina

Orion R&P Association  
9 Kosinskaya str., Moscow, 111538, Russia  
E-mail: orion@orion-ir.ru

Received March 22, 2017

***A selection of the etchant composition for the precise removal of a thin high-doped gettering layer of silicon has been carried out. The most controlled removal process is provided by an etchant composition  $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH} = 40:1:1$ . It allows to maintain the required thickness of the contact layer, which prevents the exit of the space-charge region of the  $p$ - $n$ -junction to the rear surface of the base of the photosensitive element, while ensuring full removal of the gettering layer, thereby ensuring the reduction of the magnitude of dark currents and an increase in the percentage of yield of suitable products.***

**Keywords:** silicon, getter layer, etchant.

### REFERENCES

1. I. P. Stepanenko, *Foundations of the Theory of Transistors* (Energiya, Moscow, 1977) [in Russian].
2. K. Reivy, *Defects and Impurities in the Semiconductor Silicon* (Mir, Moscow, 1984) [in Russian].
3. Zarubezh. Elektron. Tekhn. No. 11, 43 (1983).
4. A. K. Budtolaev, I. A. Evlent'ev, G. V. Liberova, et al., Prikl. Fiz., No. 6, 62 (2015).
5. B. L. Luft, *Physical and Chemical methods of Treatment* (Moscow, 1982) [in Russian].
6. M. A. Korolev, T. Yu. Krupkina, and M. A. Reveleva, *Technology and Methods of Modelling*. Part 1. (Binom, Moscow, 2015) [in Russian].
7. V. P. Zaporozhskii and B. A. Lapshinov, *Treatment of Semiconductor Materials* (Vyssh. Shkola, Moscow, 1988) [in Russian].
8. Yu. G. Poltavtsev and A. S. Knyazev, *Technology of Treatment of Surfaces* (Tekhnika, Kiev, 1990) [in Russian].