

06.1; 06.2

© 1990

ПРЯМАЯ ВАХ ДИОДОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПРЯМОГО  
СРАЩИВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН (ПСК)В.М. Волле, В.Б. Воронков,  
И.В. Грехов, В.А. Козлов

Сравнительно недавно в [1-5] сообщалось о разработке принципиально нового метода формирования кремниевых структур для полупроводниковой электроники - метода прямого сращивания кремниевых пластин (ПСК)<sup>1</sup>. К настоящему времени по этой проблеме опубликовано немного более десятка работ, посвященных в основном технологическим аспектам проблемы и исследованию физических свойств интерфейса между пластинами одинакового типа проводимости.

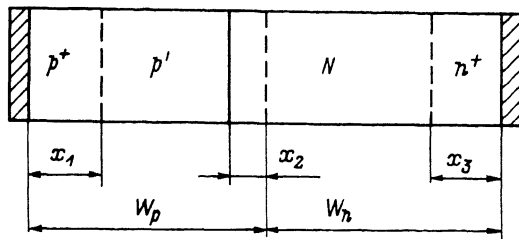
В [4-6] сообщалось также о возможности создания р-п-переходов методом ПСК, но подробного исследования их электрических характеристик не проводилось. В первой (насколько нам известно) работе по ПСК, опубликованной в отечественной литературе [7], было показано, что этим методом можно изготовить высоковольтные р-п-переходы с хорошими блокирующими характеристиками, однако прямые ВАХ исследованных в этой работе структур были существенно хуже ВАХ диодов, получаемых обычными методами.

В настоящей работе показано, что при определенных условиях изготовления прямая ВАХ ПСК-диодов может быть не хуже, чем у диодов, полученных обычными диффузионными методами.

Диоды изготавливались путем сращивания промышленных полированных пластин бестигельного п-кремния марки БКЭФ ориентации (III) с  $\rho_N \sim 200$  Ом·см и р-кремния марки КДБ ориентации (III) с  $\rho_P = 0.005$  Ом·см, выращенного методом Чохральского; диаметр пластин составлял 60 мм, а толщина 450 и 380 мкм соответственно. Качество полировки соответствовало обычным стандартам микроэлектроники. Перед сращиванием пластины проходили аммиачно-перекисную и кислотную отмывку с промежуточными промывками в деионизованной воде, а затем проводилась гидрофилизация в подогретом до  $T \sim 60$  °C растворе  $H_2O + H_2O_2 + NH_4OH$  и финишная отмывка в  $H_2O$  с последующей сушкой на центрифуге в беспылевой атмосфере. После этих обработок пластины п- и р-кремния складывались попарно полированными поверхностями, что приводило к их плотному соединению по механизму, описанному в [1-5]. Затем пластины в горизонтальном положении проходили термообработку

<sup>1</sup> В зарубежной литературе он был назван Silicon to silicon Direct Bonding (SDB) method.

а  
интерфейс р-п переход



б  
р-п переход

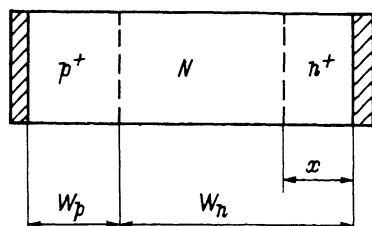


Рис. 1. а - конструкция ПСК-диода:  $W_p \approx 395$  мкм,  $\rho' \approx 2 \cdot 10^{19}$  см $^{-3}$  ( $\rho_p' \sim 5 \cdot 10^{-3}$  Ом·см);  $W_n \approx 435$  мкм,  $N = 2.5 \cdot 10^{13}$  см $^{-3}$  ( $\rho_N \sim 200$  Ом·см); глубина р $^+$ - и п $^+$ - диффузионного слоя  $\chi_1 \approx \chi_3 \approx 14$  мкм, поверхностная концентрация  $p_s^+ \approx n_s^+ \approx 3 \cdot 10^{20}$  см $^{-3}$ ; смещение р-п-перехода от интерфейса  $\chi_2 \approx 16$  мкм, время жизни дырок  $\tau_p = 15-20$  мкс. б - конструкция диффузионного диода:  $W_p \approx 50$  мкм, поверхностная концентрация  $p_s^+ \approx 3 \cdot 10^{20}$  см $^{-3}$ ;  $W_n \approx 440$  мкм,  $N = 2.5 \cdot 10^{13}$  см $^{-3}$  ( $\rho_N \sim 200$  Ом·см); глубина п $^+$ - слоя  $\chi = 15$  мкм, поверхностная концентрация  $p_s^+ \approx 3 \cdot 10^{20}$  см $^{-3}$ ,  $\tau_p = 15-20$  мкс.

при 1100 °С в течение трех часов на воздухе. После этого кратковременной диффузией бора и фосфора из силикатных стекол при 1200 °С на глубину  $\sim 14$  мкм создавались р $^+$ - и п $^+$ -слои с концентрацией  $\sim 10^{20}$  см $^{-3}$  с р- и п-стороны, соответственно. После изготовления контактов образцы разрезались на квадраты 15x15мм; краевой контур обычным образом обрабатывался и пассивировался.

Конструкция ПСК-диодов и обычных диодов, изготовленных для сравнения методом диффузии из силикатных стекол, показана на рис. 1, а, б.

Исследование косых шлифов ПСК-диодов показало, что сращивание, как правило, происходит однородно по площади прибора. Р-п-переход после операции сращивания оказался сдвинутым от интерфейса в N-базу на глубину  $\sim 2.2$  мкм, а после образования р $^+$ - и п $^+$ -слоев - на  $\sim 16$  мкм; граница перехода была ровной даже при наличии небольших несращенных участков на интерфейсе.

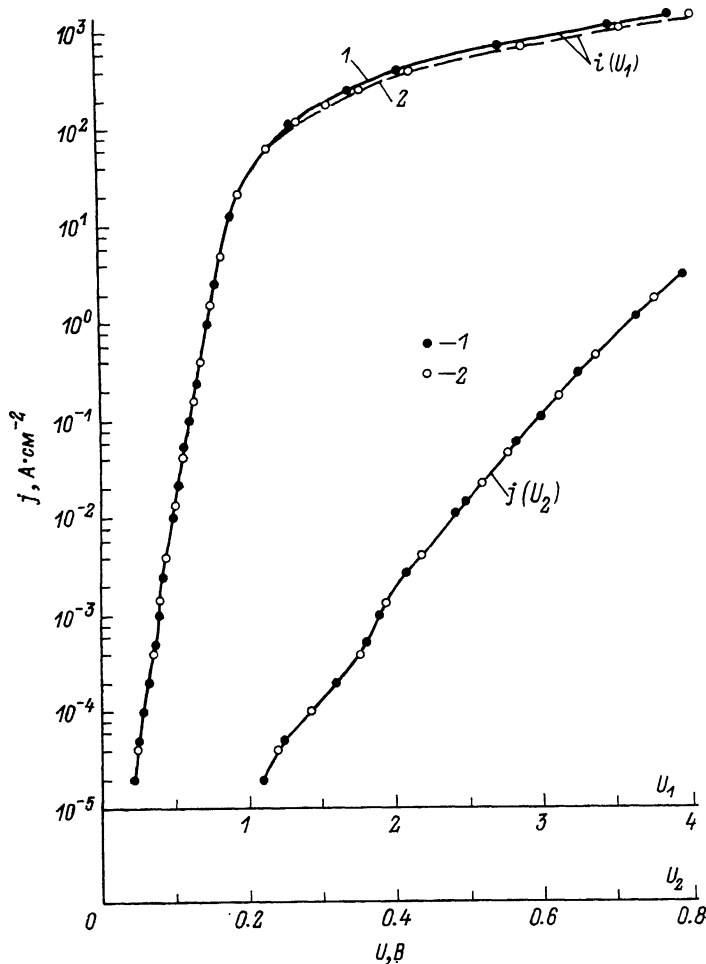


Рис. 2. Прямые ВАХ ПСК- и диффузионного диодов: 1 - ПСК-диод, 2 - диффузионный диод.

Прямые ВАХ диодов представлены на рис. 2. Измерения проводились при комнатной температуре на постоянном токе при  $j < 1 \text{ A/cm}^2$  и в импульсном режиме ( $t_n \sim 10^{-3} \text{ c}$ ) при  $j > 1 \text{ A/cm}^2$ . Как видно из представленных данных, ВАХ диодов обоих типов практически полностью идентичны. В диапазоне  $10^{-5} < j < 10^{-1} \text{ A/cm}^2$  они хорошо описываются зависимостью  $j \sim \exp(qU/mkT)$ , где  $m = 2$  при  $4 \cdot 10^{-5} < j < 4 \cdot 10^{-4} \text{ A/cm}^2$  (рекомбинационный участок),  $m \sim 1.5$  при  $4 \cdot 10^{-4} < j < 2 \cdot 10^{-3} \text{ A/cm}^2$  (начало инжекции) и  $m = 2$  при  $3 \cdot 10^{-3} < j < 10^{-1} \text{ A/cm}^2$  (высокий уровень инжекции в  $N$ -базе). При  $j > 10^{-1} \text{ A/cm}^2$  происходит хорошо известная линеаризация ВАХ, определяемая рядом нелинейных эффектов, возникающих при большой концентрации электроно-дырочной плазмы

в  $N$ -базе: электронно-дырочным рассеиванием, падением коэффициента инжекции  $p$ - $n$ -переходов и, при очень больших  $J$ , Оже-рекомбинацией.

Идентичность ВАХ диффузионных и ПСК-диодов свидетельствует о том, что потенциальный барьер на ПСК-интерфейсе пренебрежимо мал в сравнении с барьером на  $p$ - $n$ -переходе и практически не оказывает влияния на прохождение носителей через интерфейс. Это принципиально отличает исследованные диоды от описанных в [7], где барьерные свойства интерфейса существенно ухудшали прямые ВАХ. Достигнутое в настоящей работе улучшение „прозрачности“ интерфейса для носителей заряда обусловлено, вероятно, устранением образования переходного аморфного слоя окисла между кристаллами (за счет изменения условий подготовки поверхностей перед сращиванием), а также за счет использования дополнительного термического отжига при формировании  $p^+$  и  $n^+$ -слоев, снижающего плотность поверхностного заряда и высоту потенциального барьера на интерфейсе [6].

Обратные ВАХ ПСК-диодов имели вид, обычный для кремниевых высоковольтных  $p$ - $n$ -переходов. При этом токи утечки диффузионных и ПСК-структур были примерно равными и не превышали  $10^{-2}$  А при обратном смещении 3.5 кВ и  $T = 125$  °С.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] L a s k y J.B., S t i f f l e r S.R., W h i t e F.R., A b e r n a t h e y J.R. // Intern. El. Dev. Meeting, Washington, DC, 1985 (IEEE, New-York, 1985). 684 p.
- [2] L a s k y J.B. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 48(1). P. 78.
- [3] O h a s h i H., O h u r a J., T s u k a - k o s h i T., S h i m b o M. // Intern. El. Dev. Meeting, Los Angeles, 1986 (IEEE, New-York, 1986). 210 p.
- [4] S h i m b o M., F u r u k a w a K., F u - k u d a K., T a n z a w a K. // J. Appl. Phys. 1986. V. 60. N 8. P. 2987.
- [5] F u r u k a w a K., S h i m b o M., F u - k u d a K., T a n z a w a K. Extended Abstract of the 18-th Intern. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tokyo, 1986. 533 p.
- [6] B e n g t s s o n S., E n g s t r ö m O. // Journ. Appl. Phys. 1989. V. 66. N. 3. P. 1231.
- [7] В о л л е В.М., В о р о н к о в В.Б., Г р е х о в И.В., К о з л о в В.А. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 18. С. 59.

Поступило в Редакцию  
22 марта 1990 г.