

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ТЕРМОПОЛЕВОМ ЛЕГИРОВАНИИ КРЕМНИЯ

Э.К. ГУСЕЙНОВ, С.А. ИСМАЙЛОВА

*Институт Фотозлектроники АН Азербайджана
370141, Баку, Ф. Агаева, кв.555*

Ф.Д. КАСИМОВ

*Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство
370106, Баку, пр. Азадлыг 159*

Экспериментально показано и теоретически подтверждено, что уменьшение «окна» в защитном слое SiO_2 при термополево-м легировании кремниевых пластин приводит к возрастанию напряженности электрического поля на границах окна и, тем самым, к увеличению глубины диффузии в этих местах по сравнению с центральным участком.

С развитием субмикронной технологии происходит вытеснение активной части микросхемы из объема в при-поверхностный слой. При этом обостряются проблемы стабилизации параметров микрообъемов структур при термических обработках: традиционные, высокотемпературные способы обработки становятся непригодными. Возникает необходимость использовать нетермические активируемые процессы или резко сокращать длительность протекания высокотемпературных процессов.

В первом случае используются в качестве активаторов электрическое поле [1] ионизирующие излучения [2] и др. Во втором - быстрая термическая обработка [3] с использованием источников некогерентного ИК излучения [4].

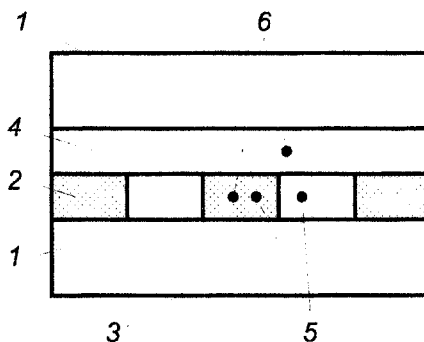
С этим же связано широкое распространение в последнее время твердых диффузионных источников (ТДИ), применение которых характеризуется более высоким процентом выхода годных приборов, однородностью параметров, снижением вредности производства и уменьшением его себестоимости. Одним из направлений применения ТДИ является исследование возможности легирования кремния при одновременном воздействии постоянного электрического поля и температуры, которое получило название термополевого легирования (ТПЛ).

Две пластины, одна из которых содержала слой источника примеси (фосфорно- либо боросиликатное стекло), а другая слой двуокиси кремния со вскрытыми в нем окнами, приводились в соприкосновение и прикладывалось напряжение порядка 30-80 В. Время ТПЛ при температуре 200-500°C составляло от 30 мин. и выше, в зависимости от требуемой глубины диффузии. Поскольку расстояние между электродами, которыми служат ТДИ и легируемая пластина, очень мало (~0,5 мкм), то напряженность поля в нем достигала 10^5 - 10^6 В/см (рис. 1).

В [5] было показано, что постоянное электрическое поле стимулирует физико-химические процессы в объеме газовой фазы, в сформированном в SiO_2 окне, на поверхностях источника и легируемой пластины. При напряженности электрического поля 10^6 - 10^7 В/см потенциал адсорбционного центра уменьшается на 1-1,2 эВ, что свидетельствует о том, что поле способствует образованию химических связей между молекулами адсорбата и поверхностью адсорбента.

Для объяснения влияния электрического поля на снижение температуры процесса предложен следующий механизм процесса термополевого легирования кремния.

Механизм процесса термополевого легирования кремния. Как указывалось выше, наиболее эффективное влияние поля происходит на этапах адсорбции и диссоциации примесных молекул на активных центрах поверхности полупроводника за счет снижения энергии активации указанных процессов. Кроме того, на этапе образования хемосорбционного комплекса типа атом примеси - атом кремния происходит локальное выделение тепла равное энергии связи хемосорбционного комплекса. Последнее приводит к локальному перегреву данного участка поверхности, причем величина перегрева может достигать 500-600°C [5], а глубина перегретого слоя равняется глубине проникновения электрического поля в полупроводник. В результате перегрева будет происходить генерация вакансий и последующее за этим встраивание атома примеси в свободный узел кристаллической решетки.



Влияние поля на этом этапе способствует активации диффузии внедрившихся атомов вглубь кристалла.

Рис. 1. Структура системы термополевого легирования из твердого источника: 1- кремниевая пластина; 2 - слой SiO_2 ; 3 - окна в SiO_2 ; 4 - слой ТДИ; 5 - параллельно расположенные диэлектрики; 6 - последовательно расположенные диэлектрики

В процессе ТПЛ осуществлялось внедрение примеси, а затем отжиг легированных пластин при температуре 900°C в течение 10 минут. Оказалось, что распределение диффундирующей примеси по площади окна неравномерно. В областях вблизи границ окон при легировании из пленок ТДИ наблюдалось увеличение глубины залегания р-п-перехода. Измерение с помощью микроскопа МИИ-8 показало, что разница глубин залегания р-п-

перехода в окна размером 10x10 мкм в случае легирования фосфором составляет $\Delta h=0,5$ мкм при глубине в центре окна $h=4$ мкм. Полученные данные свидетельствуют о некоторой неравномерности распределения напряженности электрического поля по площади окна. Распределение напряженности постоянного электрического поля для двух последовательно соединенных диэлектриков известно [6]:

$$E_1 = \frac{\epsilon_2 U}{\epsilon_2 d_1 + \epsilon_1 d_2}; \quad E_2 = \frac{\epsilon_1 U}{\epsilon_2 d_1 + \epsilon_1 d_2}, \quad (1)$$

где E_1, E_2 - напряженности электрического поля в первом и втором слоях диэлектрика; U - напряжение, прило-

женное к системе; ϵ_1, d_1 - диэлектрическая проницаемость и толщина первого диэлектрика; ϵ_2, d_2 - диэлектрическая проницаемость и толщина второго диэлектрика.

Это распределение имеет место в центре вскрытого в SiO₂ окна при условии $L \gg d$, что выполняется практически для всех реальных случаев. Однако на границе окна распределение электрического поля остается неизвестным. Для вычисления этого распределения в [7] развит метод конформного преобразования с использованием эллиптических функций Якоби. Было получено следующее выражение:

$$E(z) = \frac{U}{\pi} C \ln \left(\frac{k_1 t - 1}{k_1 t + 1} \right) \left(t^2 - \frac{1}{k_1^2} \right) \left(\sqrt{t^2 - \frac{1}{k_2}} / \sqrt{t^2 - 1} \right), \quad (2)$$

где $C = \frac{2\pi k k_1 \operatorname{sn} \alpha \operatorname{dn} \alpha}{p \operatorname{cn} \alpha}$; p - параметр межэлектродного промежутка в плоскости z ; k - модуль; α - амплитуда; $\operatorname{sn} \alpha, \operatorname{cn} \alpha, \operatorname{dn} \alpha$ - главные эллиптические функции Якоби; $\Pi(U, \alpha)$ - эллиптический интеграл третьего рода в форме Якоби от переменных U и α . Координата в плоскости t определяется как $t = \operatorname{sn} u$ с модулем k (рис. 2).

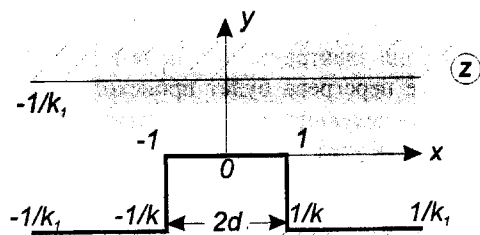


Рис. 2. Структура, представленная в виде системы плоских электронов, согласно [7].

Расчет показал наличие нормальной $E_n(z)$ и тангенциальной $E_t(z)$ составляющих вектора напряженности электрического поля.

Результаты расчетов $E_n(z)$ для значений ширины окна, равной 1 и 10 мкм (крив. 1 и 2) представлен на рис. 3. Точка $x=0$ соответствует центру окна. Толщина слоя SiO₂ была равна 0,5 мкм, а разность потенциалов на элек-

тродов -20 В. Кривая 3 на рисунке показывает теоретическое распределение тангенциальной составляющей напряженности электрического поля для окна шириной 1,0 мкм.

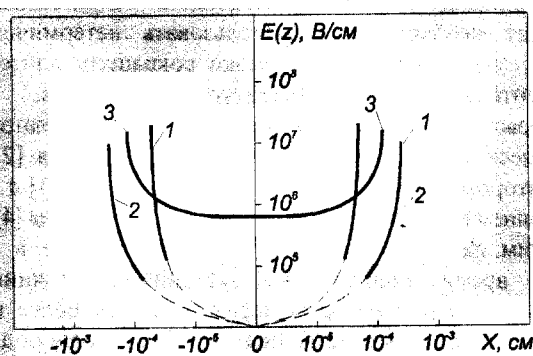


Рис. 3. Распределение напряженности электрического поля SiO₂ при ТПЛ.

Видно, что при уменьшении ширины окна на порядок величины (от 10 до 1 мкм) напряженность поля возрастает от $5 \cdot 10^6$ до $5 \cdot 10^7$ В/см. Следует отметить, что в центре окна нормальная составляющая вектора напряженности электрического поля стремится к нулю, а тангенциальная составляющая имеет некоторую величину, значение которой может достигать 10^6 В/см. Как видно, вблизи границ окна обе составляющие напряженности возрастают, что экспериментально, привело к большей глубине диффузии на этих участках.

- [1] В.В. Петров, В.Н. Котов. Физика и химия обработки материалов. 1994, №2, с.92-97.
- [2] Д.А. Сеченов. Нетермическая активация процессов легирования и формирования тонких пленок в технологии ИМС. Тезисы докладов Всероссийской НТК с международным участием «Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники», Таганрог, 1995, ч.2, с.26.
- [3] В.А. Пилипенко, В.Н. Пономарев, В.А. Горушко. Применение быстрых термообработок в технологии соз-

- создания микросхем. Труды 5-ой Всероссийской НТК с международным участием «Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники», Таганрог, 1998, с.27-29.
- [4] F.D. Kasimov, G.P. Kemerchev. Influence of pulse thermal annealing on photoelectrical properties of locally grown polycrystalline silicon films. Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics, Institute of Semiconductor Physics of NASU, Kiev, 1999, v.2, №1, p.70-75.

- [5] *А.Н. Корнев.* Активация процесса адсорбции молекул примесного вещества на поверхности полупроводника электрическим полем. В межведомственном научном сборнике: Актуальные проблемы микроэлектроники, Таганрог, ТРТУ, 1994, с.28-35.
- [6] *Б.М. Тареев.* Физика диэлектрических материалов. М.: Энергоиздат, 1982, с 320.
- [7] *К. Бинс, П. Лауренсон.* Анализ и расчет электрических и магнитных полей. Пер.с англ., М.: Энергия, 1970, с.376.

E.K. Hüseyinov, S.A. İsmaylova, F.C. Qasimov

SİLİSIUMUN TERMİK VƏ ELEKTRİK SAHƏSİNİN TƏ'SİRİ İLƏ LEGİRƏLƏNMƏSİ ZAMANI ELEKTRİK SAHƏSİNİN PAYLANMASI

Eksperimental göstərilmiş və nəzəri olaraq təsdiqlənmişdir ki, silisium lövhələrinin termik və elektrik sahələrinin tə'siri ilə legirəlməsi zamanı SiO₂ müdafiə təbəqəsində "pəncərənin" kiçilməsi "pəncərə"sərhədində elektrik sahəsinin intensivliyinin artmasına, bu da, öz növbəsində, mərkəzi sahə ilə müqayisədə bu yerlərdə diffuziya dərinliyinin böyüməsinə gətirib çıxarır.

E.K. Guseinov, S.A. Ismailova, F.D. Kasimov

THE DISTRIBUTION OF ELECTRICAL FIELD UNDER THE THERMOFIELD DOPING OF SILICON

It is shown experimentally and theoretically, that reduction of "window" dimension in the protective layers of SiO₂ under the thermofield doping of silicon plates leads to the increase of electric field strength at the window boundary and diffusion depth.

Дата поступления: 12.02.01

Редактор: З.А. Искендерзаде