

Изменение сопротивления слоя кремния, обогащенного азотом, при дальнедействующем влиянии ионной имплантации

© Е.С. Демидов[¶], В.В. Карзанов, К.А. Марков

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
603600 Нижний Новгород, Россия

(Получена 3 августа 1998 г. Принята к печати 14 июля 1999 г.)

Обнаружено улучшение изолирующих свойств синтезируемого слоя нитрида кремния под влиянием ионной обработки аргоном обратной стороны пластины кремния. Данный результат согласуется с данными инфракрасной спектроскопии, полученными авторами ранее, и связывается с эффектом дальнедействия при ионной имплантации.

Исследования эффекта дальнедействия (ЭД) при ионной имплантации показали, что воздействие ионным пучком на одну сторону полупроводниковой пластины может приводить к существенному изменению свойств на другой ее стороне или в объеме кристалла на расстояниях в сотни микрон, т.е. превышающих пробеги ионов на несколько порядков. Эти изменения оказываются более значительными, если весь кристалл или его часть далеки от равновесного состояния, например, в кристалле создан пересыщенный твердый раствор какой-либо примеси, как показано в работе [1]. В работе [2] было обнаружено смещение профиля распределения азота под влиянием ионной обработки обратной стороны пластины. Результаты работы [3] дали основания ее авторам утверждать, что ЭД может стимулировать и процессы образования химических связей. С помощью метода инфракрасной (ИК) спектроскопии нами было показано, что при облучении ионами аргона обратной стороны образцов кремния, у которых с лицевой стороны предварительно был имплантирован азот, происходит усиление ИК поглощения связями Si–N, характерное для фазы Si₃N₄ в области $\nu = 850 \text{ см}^{-1}$ [4,5]. Однако если в слое Si(N) возрастает доля фазы Si₃N₄, то это должно сказаться на изолирующих свойствах этого слоя. В настоящем сообщении представлены результаты проверки такого предположения.

Исследовались электрофизические свойства структур, сформированных путем внедрения ионов азота с лицевой стороны пластин кремния, а с обратной стороны — облученных ионами аргона. Схема облучения образцов показана на рис. 1, а.

Энергия ионов азота составляла $E = 40 \text{ кэВ}$, доза для различных образцов варьировалась в пределах $\Phi_N = (1-5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Температура мишени при имплантации составляла $T_{\text{impl}} = 673 \text{ К}$. Параметры облучения аргоном были, как и в работах [4,5]: $E = 40 \text{ кэВ}$, $\Phi_{\text{Ar}} = 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, $T_{\text{impl}} = 773 \text{ К}$. Для более яркого выделения изменений электрических свойств насыщенного азотом слоя и уменьшения вклада последовательных контактов металл–полупроводник использовались образцы почти вырожденного кремния *n*-типа марки КЭФ-0.005 с ориентацией (111). Расположение контактов на ис-

следуемых образцах при измерении вольт-амперных характеристик (ВАХ) показано на рис. 1, б. Контакты в виде круглых площадок диаметром 5 мм наносились методом вакуумного напыления алюминия через маску на "горячую" (разогрев до 673 К) подложку. ВАХ каждого образца измерялась последовательно после каждого облучения. Перед облучением алюминиевые контакты удалялись соляной кислотой. ВАХ у всех облученных образцов имели два участка — линейный и параболический, что соответствует протеканию токов в диэлектрике, описанному Лампертом [6]. Удельное сопротивление измерялось на линейном участке. Характерные ВАХ образца Si, облученного азотом ($\Phi_N = 10^{17} \text{ см}^{-2}$), до и после облучения аргоном, в прямом и обратном направлениях представлены на рис. 2.

После облучения азотом (кривые 2 и 3) удельное сопротивление слоя Si(N) толщиной порядка 0.13 мкм составило $\rho = 1.5 \cdot 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, а после облучения аргоном (кривые 4 и 5) оно возросло до значения $\rho = 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, т.е. почти на порядок улучшаются изолирующие свойства синтезируемого слоя Si_xN_y. Если доза внедренного азота была близка к стехиометрической $\Phi_N = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, то качественно эффект был такой же, но значение удельного сопротивления после имплантации азота достигало величины $\rho = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{см}$, а после облучения ионами аргона обратной стороны составляло $\rho = 4.5 \cdot 10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

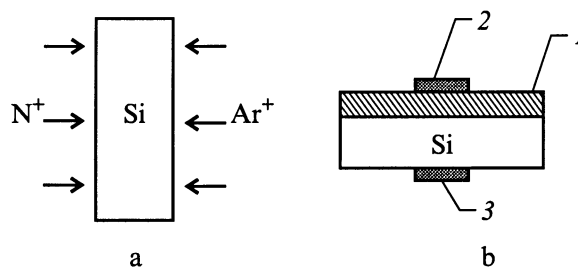


Рис. 1. Схема облучения образцов Si ионами N⁺ и Ar⁺ (а) и расположение контактов на исследуемых образцах (б). Режимы облучения указаны в тексте: 1 — слой Si(N) на "рабочей" стороне пластины, 2 — металлический контакт (пленка Al) на рабочей стороне пластины, 3 — металлический контакт (пленка Al) на "нерабочей" стороне пластины.

[¶] E-mail: ett@phys.unn.runnet.ru

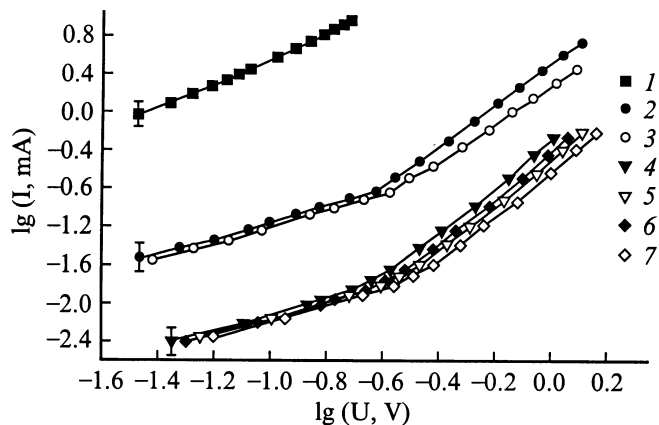


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики образца Si: 1 — после нанесения контактов; 2, 3 — после облучения азотом ($\Phi_N = 10^{17} \text{ см}^{-2}$); 4, 5 — после дополнительного облучения аргоном; 6, 7 — после травления слоя с имплантированным аргоном; 2, 4, 6 — прямые ветви; 3, 5, 7 — обратные ветви вольт-амперных характеристик.

Были выполнены контрольные измерения, в которых образцы с имплантированным азотом отжигались при температуре 773 К в течение часа, но не подвергались облучению аргоном. В этом случае ВАХ оставалась практически неизменной, т.е. температурное влияние режимов ионного облучения азотом не сказывается на электрических свойствах наших образцов. Для определения вклада в сопротивление ионно-нарушенного слоя, образованного имплантацией аргона, со стороны, облученной аргоном, динамическим травлением стравливался слой толщиной порядка 0.15 мкм, что почти в 2 раза превышает величину $R_p + \Delta R_p \approx 0.076 \text{ мкм}$ при данных параметрах имплантации [7]. "Азотная" сторона закрывалась химически стойким лаком. ВАХ образца после этой операции приведен на рис. 2 (кривые 6 и 7) и в пределах ошибки измерений совпадает с ВАХ, измеренной до травления, т.е. слой, образующийся после имплантации аргона, не вносит существенных искажений в наши измерения, что свидетельствует о достаточно высокой его проводимости и согласуется с тем, что по данным, приведенным в разд. 2.2 работы [7] и в главе 4 работы [8], доза $\Phi_{Ar} = 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ при $T_{impl} = 773 \text{ К}$ недостаточна для аморфизации кремния, а электрически активные дефекты отжигаются при $T > 600 \text{ К}$. На рис. 2 (кривая 1) показана также ВАХ контактов Al-Si, измеренная сразу после нанесения контактов, откуда видно, что их вклад в общее сопротивление составляет около 3%. Все это дает нам основания полагать, что в исследованных структурах практически все напряжение падает на слое Si(N), и вид ВАХ определяется свойствами именно этого слоя. Небольшая асимметрия ВАХ в прямом и обратном направлениях на рис. 2, по-видимому, связана с нелинейностью переходной области между слоем Si_xN_y и кремнием, после обработки кристаллов аргоном она существенно уменьшается.

Таким образом, показано, что ионная имплантация аргона с обратной стороны дозой $\Phi_{Ar} > 10^{17} \text{ см}^{-2}$ приводит к увеличению сопротивления слоя кремния, обогащенного азотом. Сопоставляя эти результаты с данными ИК спектроскопии [4,5], можно утверждать, что ионно-лучевая обработка обратной стороны пластины кремния стимулирует синтез диэлектрической фазы Si_3N_4 в слое Si(N) на другой стороне кристалла и что с помощью эффекта дальнего действия можно улучшать изолирующие свойства слоев Si_xN_y , не прибегая к высокотемпературному постимплантационному отжигу, применяемому при создании структур по обычной технологии [9].

Работа выполнена при поддержке Конкурсного центра Министерства образования РФ по фундаментальным исследованиям в области ядерной физики и физики пучков ионизирующих излучений (грант 1998–1999 гг.).

Список литературы

- [1] В.В. Карзанов, П.В. Павлов, Е.С. Демидов. ФТП, **23**, 2064 (1989).
- [2] В.Н. Мордкович. Электронная промышленность, **4**, 62 (1986).
- [3] П.В. Павлов, Е.С. Демидов, В.В. Карзанов. Высокочистые вещества, **3**, 31 (1993).
- [4] П.В. Павлов, К.А. Марков, В.В. Карзанов, Е.С. Демидов. Высокочистые вещества, **2**, 56 (1995).
- [5] В.В. Карзанов, К.А. Марков, Д.В. Мастеров. Неорг. матер., **9**, 34 (1998).
- [6] М. Ламперт, П. Марк. *Инжекционные токи в твердых телах* (М., Мир, 1973) [Пер. с англ.: M. Lampert, P. Mark. *Current injection in solids* (N.Y.–London, Academic Press, 1970)].
- [7] Х. Риссел, И. Руге. *Ионная имплантация* (М.: Наука, 1983) [Пер. с нем.: H. Ryssel, I. Ruge. *Ionenimplantation* (B.G. Teubner, Stuttgart, 1978)].
- [8] Е.И. Зорин, П.В. Павлов, Д.И. Тетельбаум. *Ионное легирование полупроводников* (М., Энергия, 1975) гл. 2, с. 41.
- [9] А.Б. Данилин. Электронная промышленность, **4**, 55 (1990).

Редактор Т.А. Полянская

Change in resistance of an enriched by nitrogen silicon layer due to a long-range influence of ion implantation

E.S. Demidov, V.V. Karzanov, K.A. Markov

The Nizhny Novgorod State University,
603600 Nizhny Novgorod, Russia

Abstract Improvement in isolating properties of a synthesised silicon nitride layer subjected to argon ion irradiation through the back side of the silicon wafer has been observed. This result accords with the infra-red spectroscopy data earlier obtained by the authors and is likely to relate to the long-range effect of ion implantation.