

- [13] Галинко Б. А. // Изв. вузов. Физика. 1981. Т. 24. Вып. 8. С. 42—56.
 [14] Марков Г. Т., Чаплин А. Ф. Возбуждение электромагнитных волн. М.: Радио и связь. 1983. 296 с.
 [15] Михлин С. Г. Интегральные уравнения. М.; Л.: ОГИЗ, 1947. 304 с.

Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию 12 января 1988 г.

05; 06; 10; 11; 12

Журнал технической физики, т. 59, в. 1, 1988

ФОРМИРОВАНИЕ СКРЫТОГО СЛОЯ β - Si_3N_4 ПРИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОМ ИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ (ВИО) КРЕМНИЯ

И. А. Бачило, Р. В. Грибовский, Ф. Ф. Комаров,
В. А. Мироненко, А. П. Новиков

В последнее время наблюдается повышенный интерес к получению структур кремний—на—изоляторе вследствие огромной технологической важности последних в технологии сверхбольших интегральных схем. Перспективным способом получения указанных структур

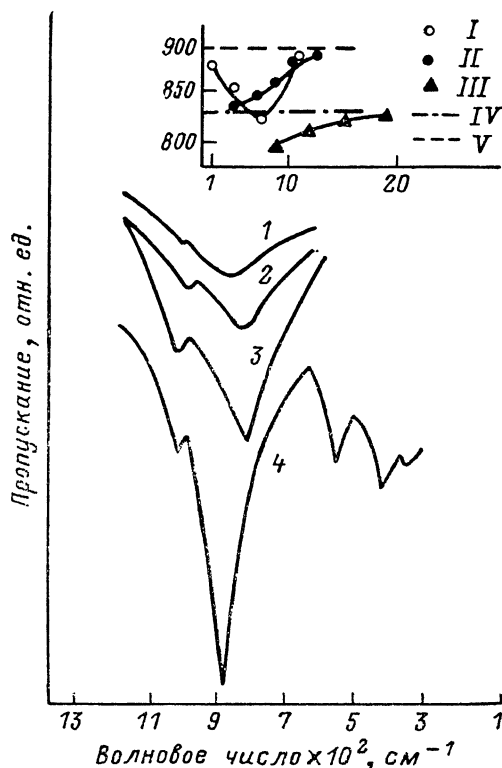


Рис. 1. Спектры ИК пропускания кремния, имплантированного азотом.

1 — 1.1, 2 — 3.5, 3 — 6.7, 4 — 9.7×10^{17} ат/см². На вставке — поведение максимума поглощения при различных условиях облучения: I — наши результаты, II — из [7], III — из [4], IV — положение максимума в аморфном Si_3N_4 , V — в β - Si_3N_4 .

является высокодозная имплантация ионов химически активной примеси (O, N) в монокристаллические пластины кремния [1—3]. Однако широкое промышленное применение данного метода ограничено рядом причин. Во-первых, время набора стехиометрических доз на существующих установках для ионной имплантации занимает около 100 ч. Во-вторых, при традиционных режимах облучения не удается получить протяженного, однородного по составу скрытого слоя нитрида кремния, вследствие выпадения части сверхстехиометрического азота в виде газовых пузырей [4—6], что может привести к расслоению структуры. Избежать выделения пузырей не удается даже в случае имплантации ионов азота в предварительно подогретую до 800 °С подложку [5]. Логическим шагом на пути решения указанных проблем должна стать высокоинтенсивная имплантация ионов химически активной примеси.

Для формирования протяженного, однородного по составу скрытого слоя нитрида кремния выполнялось облучение монокристаллических пластин кремния ориентации (III) пучком ионов N_2 с кинетической энергией 140 кэВ при плотности ионного тока 100 мкА/см². Указанный режим облучения обеспечивал разогрев образцов до температуры ~ 800 °С через 6—8 с после начала имплантации. Анализ фазового состава мишеней после облучения дозами $10^{17} \dots 10^{18}$ ат/см² выполнялся методами оже-электронной и ИК спектроскопии.

плантация в интервале $1.1 \times 10^{17} \dots 6.7 \times 10^{17}$ ат/см² наблюдается смещение максимума поглощения в область меньших волновых чисел. При дозе облучения 9.7×10^{17} ат/см² максимум возвращается в исходное положение, дополнительно появляется ряд полос в области меньших волновых чисел, из которых линия при 580 см^{-1} также однозначно относится к β -модификации нитрида кремния [8]. Необходимо отметить, что после имплантации ионов азота с низкой плотностью ионного тока не наблюдается кристаллических включений нитрида

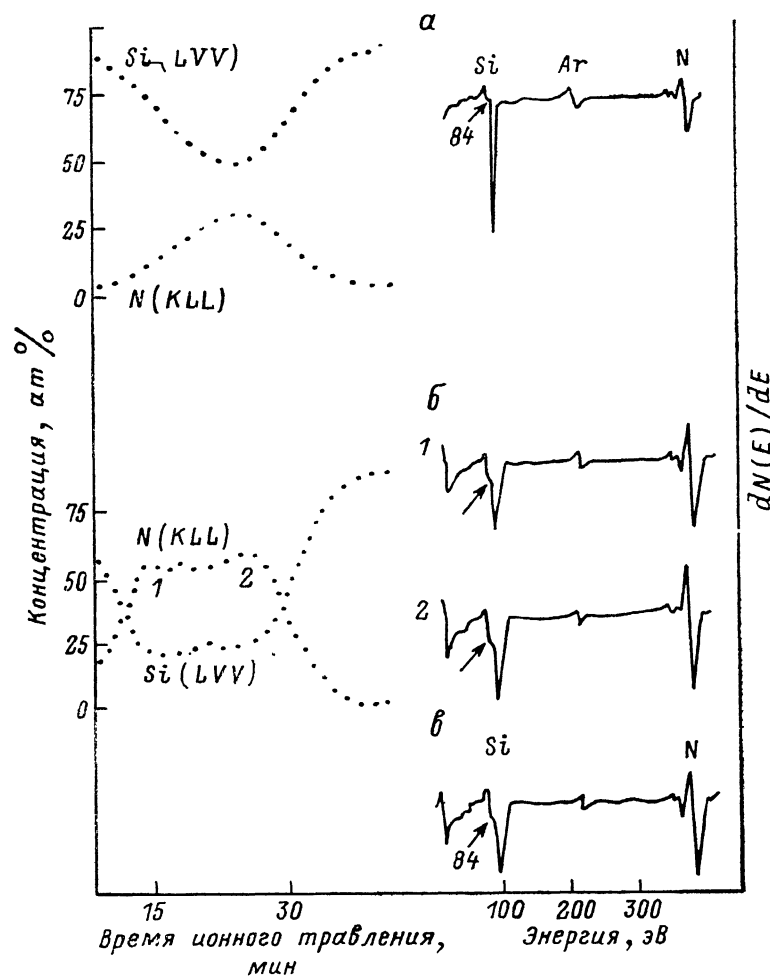


Рис. 2. Профили пространственного распределения и оже-электронные спектры облученных образцов.

а — доза 3.5×10^{17} , б — 9.7×10^{17} ат/см², в — спектр вталонной пленки. Скорость ионного травления неимплантированного кремния $\sim 57 \text{ \AA/мин}$.

кремния, а отжиг во всех случаях приводит к кристаллизации имплантированного слоя в $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ [3-8]. Заметим также, что при облучении в традиционных режимах, как и при облучении медленно (0.0014 с^{-1}) сканирующей пластины сильноточным пучком ионов азота (ток 40—400 мкА, размер пятна $1 \text{ мм} \times 3 \text{ см}$), с ростом дозы происходит смещение максимума поглощения в область больших волновых чисел [4-7]. Аналогичное поведение основной полосы поглощения наблюдалось по мере увеличения тока пучка при имплантации одинаковой дозой [7]. Авторы [4, 7] связывают описанное явление с перераспределением части внедряемого азота во время имплантации и, как следствие, со структурными изменениями в синтезируемом слое. В нашем случае зародыши $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ образуются на начальном этапе облучения и, следовательно, смещение максимума поглощения определяется изменениями условий роста включений внутри матрицы по мере поступления атомов азота. Рассмотренные различия в спектрах ИК пропускания, приведенных в настоящей работе и описанных в литературе, проиллюстрированы на вставке на рис. 1.

Сравнительная кинетика образования кристаллических зародышей $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ с данными работ [4-7], можно заключить, что образование включений новой фазы в процессе имплантации контролируется диффузионной подвижностью внедряемого азота, которая зависит от температуры мишени и скорости генерации подвижных дефектов в области максимума распределения примеси. При сканировании интенсивного пучка [7] за счет быстрого остывания подавлена подвижность примеси, и поэтому требуется превышение определенной дозы для образования включений $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$. В случае же имплантации с низкой плотностью ионного тока недостаточная концентрация подвижных дефектов ограничивает перераспределение примеси, и образования кристаллических включений не происходит на стадии имплантации [2-6]. Именно по этой причине применение внешнего подогрева не вносит существенных изменений в кинетику образования нитрида, так как температурный коэффициент диффузии чрезвычайно мал для азота в кремнии и совсем незначителен для азота в нитриде кремния (10^{-19} и 10^{-28} см²/с при 500 °С соответственно) [8]. Образование включений на начальных этапах облучения и формирование протяженного слоя нитрида кремния стехиометрического состава при больших дозах подтверждается оже-электронными спектрами и профилями пространственного распределения азота и кремния по глубине образцов (рис. 2). Уже при дозе облучения 3.5×10^{17} ат/см² оже-электронный спектр, записанный в области максимума распределения примеси, и называет, что низкоэнергетический пик кремния при 92 эВ имеет плечо при 84 эВ, наблюдаемое в нитриде кремния. Спектры образца, имплантированного дозой 9.7×10^{17} ат/см², записанные на участке 1...2, практически идентичны спектру эталонной пленки. Сравнительная оскопая вершина распределения на рис. 2, б свидетельствует об однородном составе синтезированного соединения. В заключение отметим, что существование пика при энергии 92 эВ, относящегося к чистому кремнию в спектре эталонной пленки, связано с разрывом частотной связи и к преимущественному распылению атомов азота при ионном травлении. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что формирование кристаллических включений $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ в кремниевой матрице на стадии имплантации контролируется диффузионной подвижностью внедряемой примеси, которая зависит от температуры мишени во время облучения и скорости генерации неравновесных подвижных дефектов в области максимума упруго выделенной энергии. Показано, что стационарное облучение монокристаллических пластин кремния высокоинтенсивным пучком ионов азота позволяет формировать в глубине матрицы протяженный, однородный по составу слой $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$, имеющий выраженную кристаллическую структуру без последующих термообработок.

Литература

- [1] Heiner Ryssel, Josef Gotzlich. Proc. of the Conf. on Energy Pulse Modification of Semiconductors and Related Materials. Dresden, 1984, Pt 2, p. 396—382.
- [2] Russel F., Pinizzotto R. J. Cryst. Growth, 1983, v. 63, N 1, 2, p. 559—582.
- [3] Reeson K. J. Nucl. Instr. Meth. Res., 1987, v. B19/20, N 1, p. 269—278.
- [4] Skorupa W., Wollschalager K., Kreissig U., Grotzschel R. Proc. of the Conf. on Energy Pulse Modification of Semiconductors and Related Materials, Dresden, 1984, Pt 2, p. 383—391.
- [5] Petrusello J., McGee T. F., Frommer M. N. J. Appl. Phys., 1985, v. 58, N 12, p. 4605—4613.
- [6] Reeson K. J., Hemment P. L. F., Peat R. F. Radd. Eff., 1986, v. 99, p. 71—78.
- [7] Wong S. P., Poon M. C. Nucl. Instr. Meth. Phys. Res., 1987, v. B22, N 1, p. 513—519.
- [8] Волгин Ю. Н., Уханов Ю. И. Опт. и спектр., 1975, т. 38, № 1, p. 727—731.

Белорусский государственный
университет им. В. И. Ленина
Научно-исследовательский институт
прикладных физических проблем
им. А. Н. Севченко
Минск

Поступило в Редакцию
12 января 1983 г.