

**ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНОК ДИСИЛИЦИДА ТИТАНА
В МОДИФИКАЦИИ С49 НА КРЕМНИИ, СТРУКТУРА, СВОЙСТВА**

Д.Ж.Асанов – ассистент преподаватель

Нукусский государственный педагогический институт имени Ажиянияза

М.И.Маркевич – доктор физико-математических наук, профессор

Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

А.Б.Камалов – доктор физико-математических наук, профессор

Нукусский государственный педагогический институт имени Ажиянияза

Таянч сўзлар: тез иссиқлик билан ишлов бериш (ТИБ), ИК диапазони, С49 модификацияси, титан силициди, фазага ўтиш.

Ключевые слова: быстрая термическая обработка (БТО), ИК–диапазон, модификация С 49, силицид титана, фазовый переход.

Key words: rapid heat treatment (RHT), IR range, C49 modification, titanium silicide, phase transition.

Развитие физики полупроводников и твердого тела привело к созданию нового научного направления - наноэлектроники. Важнейшими задачами наноэлектроники являются синтез новых материалов, исследование их электрических, оптических свойств и разработка на их основе новых видов полупроводниковых приборов. Кремний является базовым материалом в технологии современных интегральных микросхем, однако активные элементы интегральных микросхем, выполненные по субмикронной технологии требуют дальнейшего изучения и развития.

В настоящее время существует потребность в новых фотоприемниках для видимой и ультрафиолетовой области спектра особенно совместимой с кремниевой технологией. Это связано с использованием их в экологии, биотехнологии, медицине и т.д..

Для кремниевой наноэлектроники, с точки зрения стабильности, представляют прежде всего интерес пленки тех веществ, которые химически взаимодействуют с кремнием, а также имеют близкое соответствие ковалентных радиусов атомов с атомами кремния (например, ряд 3d переходных металлов, таких как Cr, Fe, Co, Ti). Для формирования пленок силицидов на кремнии необходимы неравновесные условия образования.

Наиболее распространенными способами проведения твердофазных реакций формирования силицидов переходных металлов является быстрая термическая обработка (БТО) различными энергетическими источниками [1-6]. Данные методы отличаются высокой производительностью, технологичностью и воспроизводимостью результатов. Малое время процесса сводит к минимуму влияние окружающей среды на образование силицидов, а так же минимизирует влияние на уже сформированные элементы активной структуры ИМС.

Ускоренный ход реакций синтеза силицидов титана экспериментально наблюдался при быстрых обработках, где источниками энергии служили вольфрамовые лампы, графитовые нагревательные источники и излучение инфракрасного лазера. Рассматриваются различные факторы, ускоряющие протекание реакций формирования силицидов. В работах некоторых работ предполагается, что ускорение кинетики формирования силицидов в условиях БТО обусловлено главным образом меньшим влиянием газовых загрязнений из окружающей среды.

Целью работы является разработка физико - технологических принципов создания структур с использованием дисилицида титана С49 совместимой с кремниевой технологией, исследование оптических свойств.

Дисилицид титана в модификации С49 формировался методом быстрой термической обработки в результате твердофазной реакции пленок титана с кремнием (рисунок 1).

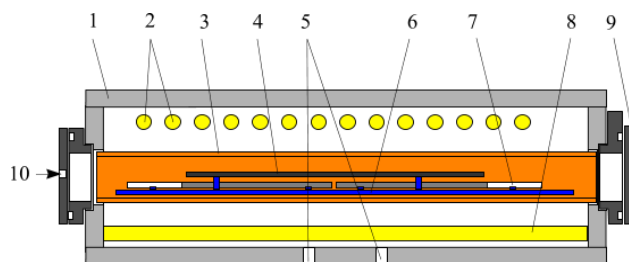


Рисунок1.- Сечение реактора установки Heatpulse 8108

1–водоохлаждаемый позолоченный корпус из нержавеющей стали, 2 - галогенные лампы (верхний ряд 14 шт.), 3 – кварцевый реактор, 4 – обрабатываемая кремниевая пластина, 5 –оптические вводы пирометров контроля температуры (2 шт.), 6 – кварцевый держатель пластин, 7 – кремниевые экраны (3 шт.), 8 - галогенные лампы (нижний ряд 14 шт.), 9 – загрузочная дверь реактора, 10 – газовый ввод.

Температура и время предварительного нагрева, а также скорость спада температуры выдерживались постоянными. Колебания температуры при выходе на температуру стабилизации не превышали $\pm 3^{\circ}\text{C}$. В качестве исходных подложек использовали пластины монокристаллического кремния, легированного бором с удельным сопротивлением 12 Ом·см с ориентацией (100), имплантированных мышьяком с дозой $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ и энергией 80 КэВ.

Методом магнетронного распыления на установке «Varian m2i» и «Endura 5500 PVD» наносились пленки Ti и TiN. Пленку TiN наносили для того, чтобы остаточные примеси не проникали в пленку титана. Так формировалась гетеросистема TiN/Ti/Si (рисунок 2).



*Рисунок 2- Схема установок напыления
Varian m2i и Endura*

Отличительной особенностью этих установок являлась индивидуальная криогенная откачка процессных модулей и высокий начальный вакуум, создаваемый в модулях нанесения перед проведением процесса (лучше $6,6 \times 10^{-6}$ Па), что обеспечивало минимальные газовые включения в пленках.

В соответствии с равновесной диаграммой состояний, показанной на рисунке 3, в системе Ti-Si в диапазоне температур протекания твердофазных реакций стабильны соединения: Ti_3Si , Ti_5Si_3 , Ti_5Si_4 , $TiSi$, $TiSi_2$.

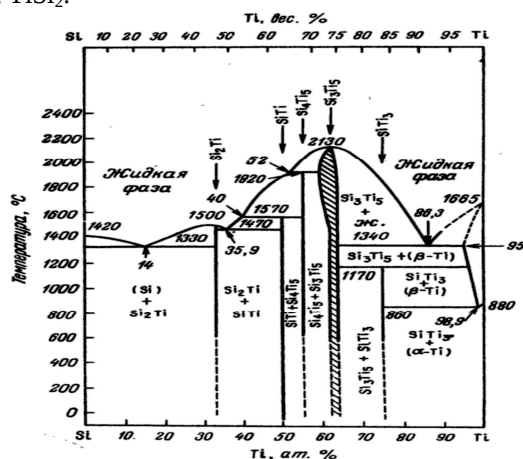


Рисунок 3. - Фазовая диаграмма равновесия Si – Ti [4]

Фаза $TiSi_2$ известна в двух структурных модификациях C49 и C54:

$TiSi_2$ (C49) – низкотемпературная модификация пространственной группы $Cmcm$ (орторомбическая базоцентрированная решетка с параметрами $a=0,3545$ нм, $b=1,3442$ нм, $c=0,3550$ нм);

$TiSi_2$ (C54) – высокотемпературная модификация пространственной группы $Fddd$ (орторомбическая гранецентрированная решетка с параметрами $a=0,8252$ нм, $b=0,4783$ нм, $c=0,8540$ нм).

$TiSi_2$ имеет наименьшую энергию образования из всех соединений в системе Ti-Si-10,7 ккал/г.ат (Ti_5Si_3 –17ккал/г.ат, $TiSi$ -15,5 ккал/г.ат). Стабильной во всем температурном диапазоне твердофазных реакций является модификация $TiSi_2$ (C54) [42, 49,50]. На рис. 4 представлена схема формирования $TiSi_2$ (C49) в одну стадию.

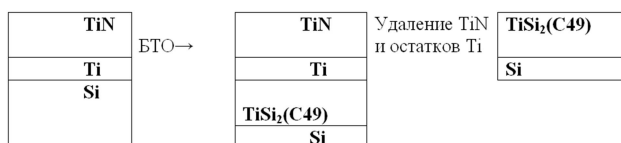


Рисунок 4. - Схема формирования $TiSi_2$ (C49)

Исследования фазовых превращений проводились на электронографе ЭМР-102. Постоянную прибора определяли путем калибровки, используя образец с известными параметрами кристаллической решетки. В качестве калибровочного эталона были выбраны поликристаллические образцы окиси магния, дающие четкую кольцевую электронограмму. Условия Вульфа-Брэгга для дифракции электронов на окиси магния выполняются для следующих систем плоскостей (таблица 1).

Hkl	111	200	220	222	400	420	422
d, нм	0,242	0,210	0,148	0,121	0,105	0,093	0,086
I, %	6	100	75	15	4	14	6

Таблица 1 - Межплоскостные расстояния окиси магния

I - относительная эффективность колец.

Для определения межплоскостных расстояний использовалась формула:

$$D_{hkl} \cdot d_{hkl} = 2 \cdot L \cdot \lambda = A, (1)$$

где D_{hkl} - диаметр кольца или удвоенное расстояние от рефлекса до центра электронограммы; d_{hkl} - межплоскостное расстояние системы $h_k l_l$; L - эффективная длина камеры; λ - длина волны электрона; A - постоянная прибора.

Предполагалось, что величина постоянной прибора $2 \cdot L \cdot \lambda$ является фактической константой. Погрешность измерения в определении постоянной прибора позволяла определить межплоскостные расстояния с точностью 0,1%. Для идентификации электронограмм использовали базу данных «The International Centre for Diffraction Data».

Твердофазная реакция формирования силицида проводилась методом БТО гетеросистемы TiN/Ti/Si при температурах 580–620°C и времени обработки 30 с.

Быстрый ввод энергии в нанесенную систему удаляет ее от состояния равновесия, она является пересыщенной дефектами кристаллического строения. В результате этого происходит реакционная диффузия между титаном и кремнием в состоянии системы далеко от термодинамического равновесия. Образование и рост той или иной фазы силицида зависит от максимальной температуры, скорости ввода энергии в систему, состава исходных компонент системы.

На рисунке 5 приведена электронограмма на отражение от дисилицида титана в модификации C49.

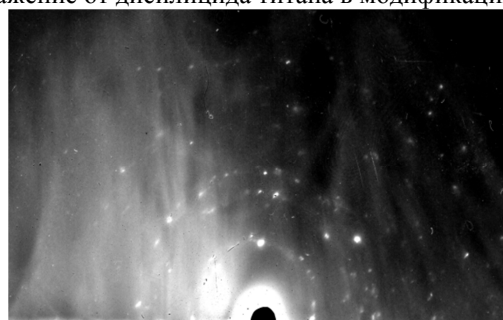


Рисунок 5 - Электронограмма пленок фазы $TiSi_2$ в модификации C49, полученных с использованием БТО при температуре отжига 600°C, время 30 с.

На рисунке 6 представлена фотография поперечного сечения сформированной структуры с использованием системы галогенных ламп.

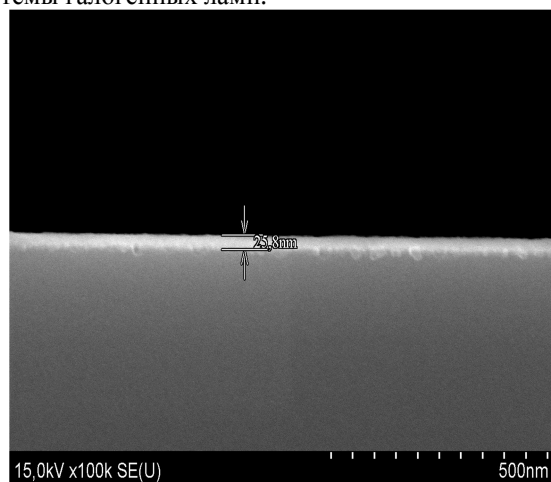
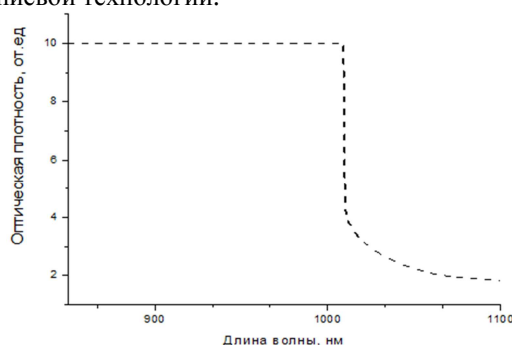


Рисунок 6.- Поперечное сечение сформированной структуры

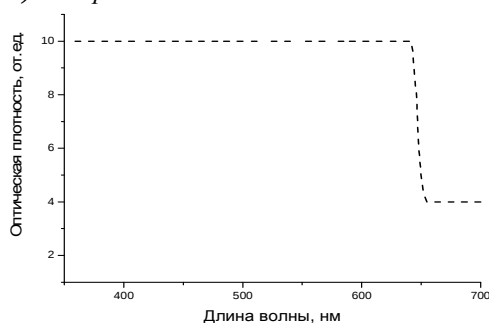
Из рисунка 6 следует, что формируемые слои имеют столбчатую структуру. В синтезированной гетеросистеме толщины исследуемых слоев имеют нанометровый диапазон. Ранее в работах [7,8] было установлено, что сформированная структура $\text{TiSi}_2(\text{C49})/\text{Si}$ обладает фоточувствительностью в диапазоне от 380 до 1050 нм.

На данной структуре проводилось измерение оптической плотности материала образцов использовался спектрофотометр Cary 500 (в УФ, видимой и ближней ИК области), с двухлучевой схемой, позволяющей компенсировать фоновый сигнал.

Оптическая плотность измерялась в трех участках поверхности образца, при диаметре светового пятна 3 мм. Зависимость оптической плотности от длины волны приведены на рисунке 7. На рисунке 7 а) показана зависимость оптической плотности кремниевой подложки, легированной ионами мышьяка, от длины волны, а на рисунке 7б) представлена зависимость оптической плотности сформированного материала покрытия TiSi_x в УФ и красной областях (б) спектра (с произведенным вычитанием спектра подложки). Из рисунка 7 следует, что доминирующее поглощение исследуемых структур лежит в УФ, красной и ближней ИК области. Спектры поглощения сформированной структуры согласуются с данными по фоточувствительности. Полученные значения оптической плотности, измеренные по нескольким точкам образца, позволили считать покрытие однородным. Полученные результаты открывают возможности применения дисилицида титана в модификации C49 для фотоприемников на основе кремниевой технологии.



а) для кремниевой подложки



б) для силицида титана

Рисунок 7 Зависимость оптической плотности от длины волны: а)-для кремниевой подложки

б)-для силицида титана

На рисунке 8 представлены ИК-спектры отражения образцов $\text{TiSi}_2(\text{C49})/\text{Si}$, сформированных при различных температурах обработки.

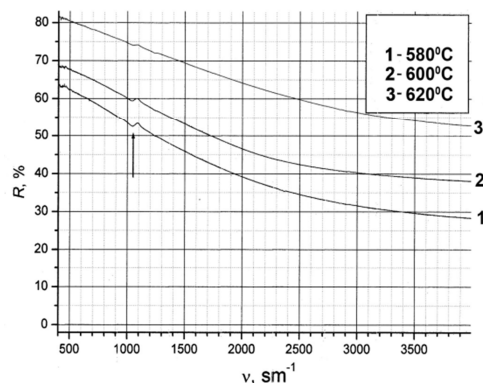


Рисунок 8.- Спектры отражения от образцов $\text{TiSi}_2(\text{C49})/\text{Si}$, обработанных при температурах 1 - 580°C, 2 - 600°C, 3- 620°C.

Проведенные измерения спектров отражения позволили выявить основные закономерности в изменении $R(\nu)$. Из анализа спектров видно, что в диапазоне волновых чисел 500 - 4000 см^{-1} наблюдается уменьшение коэффициента отражения примерно на 30%. Из анализа спектров также следует, что с повышением температуры обработки гетеросистемы увеличивается коэффициент отражения модифицированной поверхности. Увеличение значения R с повышением температуры обработки примерно на 15% в области волновых чисел 500 см^{-1} и на 30% в области 3000-4000 см^{-1} происходит в результате формирования более однородного слоя дисилицида титана в модификации C49.

Также на спектрах видны узкие полосы отражения в области волновых чисел 1100 см^{-1} . Данные полосы, по-видимому, связаны с состоянием атомов кислорода в пленке $\text{TiSi}_2(\text{C49})$. Также из анализа спектров следует, что с повышением температуры происходит перераспределение атомов кислорода в исследуемых структурах (интенсивность узкой линии уменьшается) при повышении температуры обработки до 620°C

Формирование дисилицида титана в модификации C49 должно осуществляться в едином технологическом цикле под слоем TiN для предотвращения окисления границы раздела и попадания остаточных примесей в пленку титана при быстрой термической обработке. Температура быстрой термической обработки (БТО) является ключевым параметром процесса и не должна превышать 650°C, чтобы обеспечить формирование полупроводниковой фазы TiSi_2 в модификации C49.

Показано, что основные полосы поглощения лежат в УФ, красной и ближней ИК области. Установлено, что с повышением температуры обработки гетеросистемы увеличивается коэффициент отражения модифицированной поверхности.

Литература

1. Иевлев В.М. Формирование пленок силицидов металлов методами импульсной фотонной обработки /С.Б. Куцев//Вест. ВГТУ. Сер. Материаловедение. 1997. Вып.1.- С.8-12.
2. Борисенко В.Е. Твердофазные процессы в полупроводниках при импульсном нагреве/В.Е. Борисенко.- Минск: «Наука и техника», 1992. –С. 247.
3. Пилипенко В.А. Быстрые термообработки в технологии СБИС /В.А Пилипенко.- Минск: Изд. центр БГУ. 2004. –С. 531.

4. Иевлев В.М. Формирование пленок силицидов металлов методами импульсной фотонной обработки. /С.Б. Кушев //Вест. ВГТУ. Сер. Материаловедение. 1997. Вып.1.- С.8-12.
5. Chaplanov A.M., Karwat C, Kolos V.V., Markevich M.I., Stelmakh V.F. Effect of arsenium dose implanted in silicon substrate on titanium silicide growth during pulse photon processing // VIII-th conference Ion Implantation and Other Applications of Ions and Electrons//Kazimiers Dolny, Poland, 2010.- P. 122.
6. Markevich M.I., Malysheko A.N., Chaplanov A.M., Щербакowa E.H. Formation of thin films of nitrides and silicides of transition metals for micro- and nanoelectronics //Proceedings of Science and Technological Seminar "Korea-Belarus" – Minsk: 25 oct. 2010.- P.19 .
7. Емельяненко Ю.С., Колос В.В., Маркевич М.И., Стельмах В.Ф., Чапланов А.М. Принципы формирования и свойства фоточувствительных структур на основе силицида переходных металлов // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9 Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 15 апреля 2011г.: в 4 т. / под ред. Б.М. Хрусталева, Ф.А. Романюка, А.С. Калининченко – Минск: БНТУ, 2011. - Т.3. – С.370.
8. Емельяненко Ю.С., Новосёлов А.М., Маркевич М.И. Об особенностях формирования фотоответа в структурах $TiSi_2-Si$ // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9 Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 15 апреля 2011г.: в 4 т. / под ред. Б.М. Хрусталева, Ф.А. Романюка, А.С. Калининченко – Минск: БНТУ.- 2011. - Т.3. – С.372.

РЕЗЮМЕ. Ўтиш металл силитсидларини ҳосил қилиш учун қаттиқ фазали реаксияларни ўтказишнинг энг кенг тарқалган усуллари турли энергия манбаларидан фойдаланган ҳолда тез иссиқлик билан ишлов беришдир (ТИБ). Ушбу усуллар юқори маҳсулдорлик, ишлаб чиқариш ва натижаларнинг такрорланиши билан тавсифланади. Қисқа жараён вақти атроф-муҳитнинг силитсидлар ҳосил бўлишига таъсирини камайтиради, шунингдек, ИМС фаол тузилишининг аллақачон шаклланган элементларига таъсирини камайтиради. Гетеротизимнинг ишлов бериш хароратининг ошиши билан ўзгартирилган сиртнинг акс эттириш қобиляти ошиши аниқланди.

РЕЗЮМЕ. Наиболее распространенными способами проведения твердофазных реакций формирования силицидов переходных металлов является быстрая термическая обработка (БТО) различными энергетическими источниками. Данные методы отличаются высокой производительностью, технологичностью и воспроизводимостью результатов. Малое время процесса сводит к минимуму влияние окружающей среды на образование силицидов, а так же минимизирует влияние на уже сформированные элементы активной структуры ИМС. Установлено, что с повышением температуры обработки гетеросистемы увеличивается коэффициент отражения модифицированной поверхности

SUMMARY. The most common methods for conducting solid-phase reactions for the formation of transition metal silicides are rapid heat treatment (RHT) using various energy sources. These methods are characterized by high productivity, manufacturability and reproducibility of results. The short process time minimizes the influence of the environment on the formation of silicides, and also minimizes the influence on the already formed elements of the active structure of the IMC. It has been established that with an increase in the treatment temperature of the heterosystem, the reflectivity of the modified surface increases.

TRIKOTAJ MATOLARI NAQSHLARNI SHAKLLANTIRISH VA LOYIHALASHDA ZAMONAVIY TEXNIKA VA TEXNOLOGIYALARDAN FOYDALANISH

A.Berdimbetova – katta o'qituvchi

Ajiniyoz nomidagi Nukus davlat pedagogika instituti

Tayanch so'zlar: trikotaj, naqsh, bezak, mato, jakkard, press, futer, glad, lastik, ajur.

Ключевые слова: вязание, узор, отделка, ткань, жаккард, пресс, футер, гладь, резинка, ажур.

Key words: knitting, pattern, finishing, fabric, jacquard, press, footer, smooth surface, elastic band, openwork.

Trikotaj mato naqshi va uning tuzilishi xomashyo to'qimachilik materiallari bilan chambarchas bog'liqdir. Trikotaj matolarini yaratishda ip va kalava ip kabi to'qimachilik materiallari qo'llaniladi. Bularning tavsiflovchi xosliklari tola mayinligidir va nisbatan ko'ndalang kesim bo'yicha ingichkaligi bilan nihoyatda cheksiz uzunligidir. Ip va kalava iplarning xususiyatlari to'qimachilik tolalar tabiatiga bog'liqdir, ya'ni ular tabiiy, sun'iy, sintetik yoki ularning aralashmalari. Trikotaj matosi ma'lum elementlardan tashkil topgan tuzilish bo'lib, ular o'zaro bog'liqliklarga egadirlar. Ana shunday elementlar bu trikotaj matosining halqalari, protyajka, nabroska, arqoq ipidir. To'qima elementlari turli materiallardan olinishi mumkin va shunga asosan ular o'zlarini turlicha namoyon qilishlari mumkin.

Matolarni badiiy loyihalash imkoniyatlari turli xususiyatli xomashyolar qo'llash bilan yanada kengayadi. Mato loyihalashda to'qima tuzilishi, uning naqshi shakllanishida xomashyoning o'ziga xosliklari namoyon bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, ushbu matoni loyihalashda har bir elementning, ya'ni naqsh, material, to'qima tuzilishlarining o'ziga xosliklari, bir-biriga o'zaro ta'siri aniqlanadi. Loyihalanayotgan mato chizmalari ishlab chiqarilgandan so'ng ip va kalava iplardan to'qish uchun kerakli hujjatlar tayyorlanadi. Ishlab chiqarishda yoki o'quv laboratoriyasida ushbu matolarning chizmalari tasdiqlangandan so'ng andozalari va taxtlash kartalari

tuziladi. Trikotaj matosining taxtlash kartasida quyidagi ma'lumotlar ko'rsatilishi shart;

- To'quv mashinasi (rusumi, modeli);
- Halqa hosil qilish tizimlar, quloqchali ignalari, grebyonkalar soni;
- To'quv mashinasining bosh o'qining aylanish tezligi, mashinaning diametri (aylana ignadonli mashinalar uchun);
- Ignalar soni;
- To'qima turi;
- Xomashyo turi, chiziqli zichligi, matodagi tarkibi;
- Mato tavsifnomasi (gorizontal va vertikal bo'yicha 5 sm ga to'g'ri keladigan halqalar soni, yuza zichligi, pardozlanishi);
- Mashinaning halqa hosil qilish tizimlari bo'yicha joylashishi (kalava iplarni turi, chiziqli zichligi va rangi);
- Tandalashning takrorlanishi, naqsh andozasi, to'qimaning grafik yozuvi, to'qimaning analitik yozuvi (tanda to'qimalari uchun) taxtlash kartaga matoning namunasi qo'yiladi. Karta musavvir, texnolog va usta bilan imzolanadi [1:65].

Aylana ignadonli jakkard mashinalarida matoni o'ng tomondan joylashgan rang-barang rangli trikotaj to'qiladi. Trikotaj matosi yuzasida joylashgan naqshlarning rangli yechimlari to'qima tuzilishlari bilan bog'liq. Matodagi rangli naqsh turli usullar bilan amalga oshiriladi: halqa hosil qilish tizimlarida rang-barang iplarning tanlash mexanizmlarisiz yoki mahsus moslamalar (ringel